

Univerzita Karlova v Praze

Přírodovědecká fakulta

Katedra experimentální biologie rostlin



Bc. Zuzana Máhrlová

**Vliv teploty na růst rostlin: výukové protokoly
modelových pokusů**

The effect of temperature on plant growth: teaching protocols of
model experiments

Diplomová práce

Školitelka: Prof. RNDr. Jana Albrechtová, Ph.D.

Praha, 2014

Školitelka diplomové práce:

Prof. RNDr. Jana Albrechtová, Ph.D., Katedra experimentální biologie rostlin PŘF UK

Konzultantky diplomové práce:

Mgr. Zuzana Lhotáková, Ph.D., Katedra experimentální biologie rostlin PŘF UK, doc.

RNDr. Věra Čížková, CSc., Katedra experimentální biologie rostlin PŘF UK.

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracovala samostatně s použitím citované literatury pod vedením Prof. RNDr. Jany Albrechtové, Ph.D. a za konzultace Mgr. Zuzany Lhotákové a doc RNDr. Věry Čížkové. Souhlasím s jejím zveřejněním.

V Praze, dne

Zuzana Máhrlová

Poděkování:

Ráda bych vyjádřila své upřímné poděkování školitelce Prof. Janě Albrechtové a konzultantkám Mgr. Zuzaně Lhotákové a doc. Věře Čížkové za cenné rady a inspiraci při psaní mé diplomové práce. Velice bych chtěla poděkovat také Mgr. Drahomíře Bartákové za poskytnutá data a rady k plánu pokusu o nárůstu biomasy. Děkuji také řadě spolužáků a blízkých přátel, se kterými jsem měla možnost diskutovat jednotlivá témata mé práce, jmenovitě bych zmínila alespoň Evu Tarabovou a Libora Sedleckého. Zároveň bych ráda poděkovala své rodině a příteli Jindřichovi, za jejich psychickou podporu a trpělivost.

Abstrakt

Diplomová práce se zaměřuje na tvorbu modelových úloh (formou experimentu) pro studium biologie na středních školách s tématem vlivu teploty na růst rostlin. Vybrané úlohy využívají nový didaktický přístup prostřednictvím tzv. badatelsky orientovaného vyučování. Tato výuková metoda přispívá k rozvíjení samostatného odvozování a nutí žáky přemýšlet aktivně o vyučované tematice. Práce poskytuje nezbytné teoretické zázemí k problematice, popis metod a materiálu nutného k realizaci pokusu. Práce dále popisuje postupy pro tvorbu pokusu a jeho užití v praxi středních škol a poskytuje k nim potřebné metodické pokyny a pracovní listy. Zároveň byla orientačně ověřena didaktická použitelnost experimentu i vypracovaných materiálů prostřednictvím dotazníkového šetření a kontrolního provedení modelových úloh na středních školách. Hlavním výsledkem této diplomové práce je pak moderní, kvalitní ověřená metoda výuky na středních školách o vlivu teploty na růst rostlin v souladu s moderními přístupy ke vzdělávání, které zahrnují vlastní pokusy, jejich vedení zpracování a vyvození závěrů. Vypracované didaktické materiály tak mohou sloužit pro přípravu kvalitních, badatelsky orientovaných uchazečů o studium na vysokých školách.

Klíčová slova

Badatelsky orientovaná výuka, biomasa, didaktické metody, dotazníkové šetření, fotosyntéza, fyziologie rostlin, klíčení, klimatické změny, respirace, teplota, *Phaseolus vulgaris* L., *Zea mays* L.

Abstract

This diploma thesis is focused on the creation of model tasks (by means of an experiment) for the study of biology at secondary schools and concerns the effects of temperature on plant growth. The selected tasks utilize the new didactic approach by means of the so called inquiry based education. This method of teaching contributes to the development of individual deduction reasoning and encourages the students to actively think about the subject matter. The thesis provides the necessary theoretical background for the topic together with the description of methods and material needed for the conducting the experiments. Furthermore, the thesis describes the necessary instructions and procedures to conduct the experiment and its use in the secondary school teaching practice and presents the requisite methodical guidelines and worksheets for them. Simultaneously, the thesis verifies the didactic applicability of the experiment and the worked out materials through a questionnaire survey and monitored application of the model tasks at secondary schools. The main result of this diploma thesis is a modern, functional and verified method of teaching for high school about the effects of temperature on plant growth in accordance with modern approaches to education, which include own experiments, their processing and drawing conclusions. The developed educational materials can be used for the preparation of high-quality, research-oriented applicants for a study at universities.

Keywords

Inquiry based education, biomass, didactic methods, questionnaire survey , photosynthesis, plant physiology, germination, climate changes, respiration, *Phaseolus vulgaris* L., *Zea mays* L.

Seznam zkratek

3-PGA – 3-fosfoglycerová kyselina

ANOVA – analýza rozptylu (Analysis of variance)

ATP – adenosintrifosfát

BOV – badatelsky orientovaná výuka

CO₂ – oxid uhličitý

gm - vodivost přenosu CO₂ z mezibuněčných prostor listu do místa karboxylace v chloroplastu

IPCC – Mezivládní panel pro změnu klimatu (Intergovernmental Panel on Climate Change), (<http://www.ipcc.ch/>)

IR – infračervené záření (Infrared radiation)

NVP – národní vzdělávací program

PAR – fotosynteticky aktivní záření (Photosynthetically active radiation)

PEP – fosfoenolpyruvát

PET – polyethylentereftalát

Rubisco – ribulosa-1,5-bisfosfát-karboxylasa/oxygenasa

RVP – rámcový vzdělávací program

RVP G – rámcový vzdělávací program pro gymnázia

ŠVP – školní vzdělávací program

UV – ultrafialové záření

Obsah

Seznam zkratk	6
Obsah	7
Úvod	9
1. Literární úvod	11
1.1. Biologická část	11
1.1.1. Rostliny a záření	11
1.1.1.1. Přeměna energie fotonu na teplo	13
1.1.1.2. Změny klimatu	15
1.1.1.3. Změny teploty	18
1.1.2. Vliv teploty na fyziologické procesy rostlin	21
1.1.2.1. Vliv teploty na klíčení rostlin	23
1.1.2.2. Vliv teploty na fotosyntézu	25
1.1.2.3. Vliv teploty na dýchání rostlin	30
1.1.2.4. Vliv teploty na C3 a C4 rostliny	31
1.1.2.5. Vliv teploty na fotorespiraci	34
1.2. Didaktická část	34
1.2.1. Badatelsky orientovaná výuka	34
1.2.1.1. Historie	36
1.2.1.2. Struktura a uspořádání badatelsky orientované výuky	36
1.2.1.3. Badatelsky orientovaná výuka v praxi	37
1.2.2. Zařazení tématu do gymnaziálního vzdělávání	38
2. Materiál a metody biologie	42
2.1. Rostlinný materiál	42
2.2. Příprava rostlinného materiálu pro pokusy	43
2.3. Experimentální systémy a kultivace	44
2.4. Metody zpracování rostlinného materiálu	46
2.4.1. Nepřímé měření koncentrace CO ₂ - Indikační kapalina Permanent Test CO ₂	46
2.4.2. Přímé měření koncentrace CO ₂ - Senzor CO ₂ z řady Vernier	48
2.4.3. Metodika vážení rostlinného materiálu pro zjištění biomasy rostlin	49
2.4.4. Metodika sušení rostlinného materiálu v mikrovlnné troubě	49
2.5. Statistické metody	50

3. Materiál a metody didaktiky	52
3.1. Dotazníkové šetření.....	52
3.2. Struktura výukového materiálu.....	53
3.3. Orientační ověřování.....	54
4. Výsledky.....	55
4.1. Výsledky pokusu č. 1 - hodnoty naměřené pomocí indikační kapaliny.....	55
4.1.1. Výsledky pokusu 1 – hodnoty naměřené pomocí CO ₂ senzoru z řady Vernier	62
4.1.2. Výsledky pokusu č. 1 – Statistické zhodnocení	65
4.2. Výsledky pokusu č. 2 – Vliv teploty na nárůst biomasy.....	65
4.2.1. Výsledky pokusu 2 – Statistické zhodnocení.....	80
4.3. Výsledky analýzy využitelnosti laboratorního cvičení.	81
4.3.1. Dotazník pro učitele – Badatelsky orientované vyučování	81
4.3.2. Analýza pracovních listů využitých při orientačním ověření na škole.....	87
5. Diskuze	89
5.1. Pokus 1 – Vliv teploty na uvolňování CO ₂ během klíčení fazolu při rozdílných teplotách.....	91
5.2. Pokus 2 – Vliv teploty na růst kukuřice seté rostoucí při rozdílných teplotách	93
5.3. Dotazníkové šetření.....	95
5.4. Výukový materiál a jeho orientační ověření na škole	96
5.5. Badatelsky orientované vyučování biologie na středních školách.....	98
Závěr.....	100
6. Seznam použité literatury	101
7. Přílohy.....	112
7.1. Dotazník pro učitele	112
7.2. Dotazník TEREZA.....	115
7.3. Metodický materiál pro učitele	117
7.4. Pracovní listy pro žáky	121
7.5. Autorské řešení pracovních listů	126
7.6. Materiál pro realizaci laboratorního cvičení	132

Úvod

V průběhu posledního desetiletí se na území České republiky začíná objevovat nová metoda výuky přírodních věd, označená jako badatelsky orientovaná výuka. Tato metoda již našla své uplatnění ve školském systému západních zemí, u nás však její využití je spíše sporadické. Tato metoda se snaží do škol zavést postupy, které žákům nabízí možnost učit se vlastním výzkumem, vědeckou prací, jako alternativu k frontální výuce. Stejnou ambici nese v malém měřítku i tato práce, jejímž cílem je umožnit žákům jednak pochopit dílčí otázky z biologického okruhu fyziologie rostlin, na základě vlastního ověření pokusem a jednak osvojit si principy vědecké práce – postavení pokusu, jeho vedení, získávání dat, jejich zpracování a analýza, vyvození závěrů z pokusů.

Z biologického okruhu fyziologie rostlin bylo vybráno téma vlivu teplot na fyziologické procesy rostlin, které spadá do studijních osnov středních škol v rámci RVP G. Teplota má klíčový význam pro život rostlin a tím i pro život všech organismů, včetně člověka. Každý by si měl uvědomit, jakým způsobem působí změny teplot v ekosystému, který ho obklopuje, na jeho různé součásti včetně rostlin. Toto téma je stále více aktuální vzhledem k problematice probíhajících klimatických změn a produkce potravin pro užití stále narůstající celosvětové populace, jejíž velikost již přesáhla 7 miliard (např. odhad velikosti populace byl 7 253 069 000 k datu 11. 8. 2014; <http://www.worldometers.info/world-population/>). Vzhledem k tomu, že toto téma je nejen důležité, ale i atraktivní, je vhodné jeho výuku provést badatelsky orientovanou metodou. Důležitost tématu mě tedy vedla k sestavení experimentů v tematické oblasti vlivu teploty na vybrané fyziologické procesy rostlin, v nichž se snažím použít dostupný a levný materiál, aby bylo možné tyto pokusy realizovat na středních školách a gymnáziích a provést je badatelsky orientovanou formou.

Cíl této práce lze shrnout jako tvorbu moderního didaktického materiálu použitelného pro výuku na středních školách. Spočívá v konstrukci badatelsky orientovaného laboratorního cvičení na téma „vliv teploty na růst a vývoj rostlin“ využitelného v rámci výuky na středních školách. Cestu k tomuto cíli lze rozdělit do tří dílčích kroků.

- a) Návrh jednotlivých pokusů na téma vliv teploty na růst a vývoj rostlin, jejich ověření, zpracování výsledků a zhodnocení výsledků pokusů a jejich vhodnosti pro tvorbu výukových materiálů pro výuku na středních školách a gymnáziích.
- b) Tvorba výukového materiálu (metodických a pracovních listů) pro laboratorní cvičení využívající funkční experimenty (viz. bod a) realizované badatelskou metodou na středních školách a gymnáziích.
- c) Testování výukového potenciálu pokusu v praxi a dotazníkové šetření orientované na optimalizaci vytvářených výukových materiálů. Zhodnocení dotazníkového šetření, přehlednosti a srozumitelnosti výukových materiálů pro žáky a využitelnost materiálu badatelsky orientované výuky pro učitele. Optimalizace výukových materiálů na bázi vyhodnocení dotazníkového šetření.

1. Literární úvod

Literární úvod poskytuje nezbytné teoretické zázemí k pokusu a jeho didaktickému využití, proto literární úvod je rozdělen na dvě části, a to na část biologickou a část didaktickou. V literárním úvodu v části biologické představím teoretický úvod k biologickým tématům, na které jsem se zaměřila při vytváření badatelsky orientovaných úloh. Stěžejní biologické části předchází kapitola o fyzikální podstatě elektromagnetického vlnění a tepla a jejich vzájemných souvztažností. Navazují kapitoly pojednávající o změnách klimatu a teploty. V další části literárního úvodu popíši, jaký vliv má teplota na jednotlivé fyziologické procesy u rostlin a jsou zde uvedeny i rozdíly v odezvě na teplotu u C3 a C4 rostlin. V části didaktické jsem se zaměřila na historii a vymezení pojmu badatelsky orientovaného vyučování a dále strukturu a uspořádání výuky touto metodou. Závěrečná část literárního úvodu je věnována zařazení tématu vliv teploty na procesy a růst rostlin do gymnaziálního vzdělávání.

1.1. Biologická část

Biologická část obsahuje témata z oblastí rostlin, světelného záření a teploty. Blíže popisuje vliv teplot na jednotlivé procesy rostlin a způsob, kterým se světelná energie přeměňuje v teplo.

1.1.1. Rostliny a záření

Nutným a nenahraditelným faktorem pro růst rostlin je záření a to viditelné světlo pocházející ze slunečního záření. Sluneční záření je hlavním zdrojem energie pro naši planetu a život na ní. Světelné záření je nejen schopno dodávat energii pro fotochemické procesy v rostlině, ale i zvyšovat vnitřní energii těles, tedy přenést na ně svou energii, a tím tělesa ohřát. Vzhledem k tomu, že cílem práce je popsat vliv teploty na vnitřní procesy rostlin, je tato kapitola věnována popisu světelného záření, jako nositele energie. Objasní, jaký je vztah mezi zářením a ohříváním předmětů, které jsou

záření vystaveny. Kapitola dále vysvětluje, že viditelné světlo není jediným zdrojem tepla.

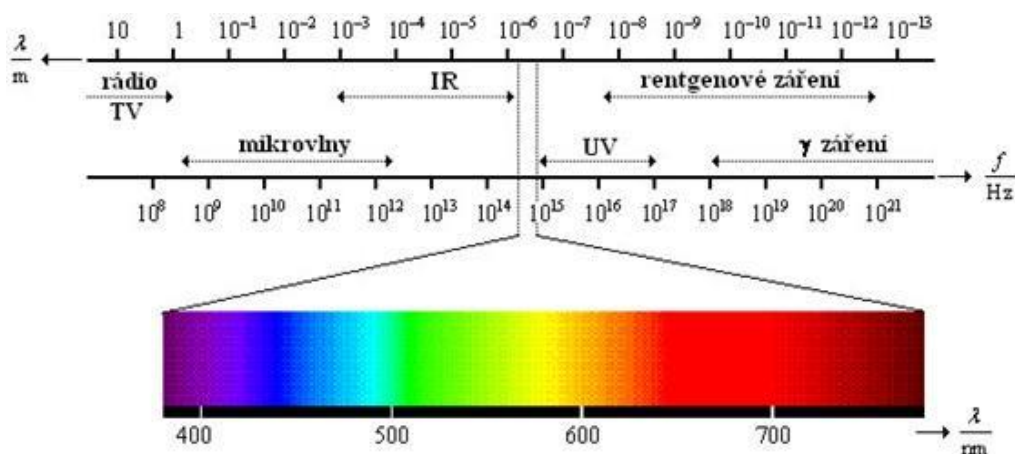
Moderní věda dosud není schopna podat úplný a nerozporný popis toho, co je světlo. Světlo je v moderní vědě popsáno jako elektromagnetické záření, jako šíření elektromagnetických vln. O světle ale dále víme, že se šíří i v úplném vakuu, tedy v prostředí bez hmoty a vykazuje chování jako částice, kdy je možno tuto jednotlivou částici změřit například pomocí některých nástrojů (Faynman, 2001). Záření je sice elektromagnetické vlnění, přesto se skládá z elementárních částic nazývaných fotony. Za nositele energie obsažené ve světle moderní fyzika považuje tyto fotony.

Viditelné světlo je pouze jednou z částí elektromagnetického spektra a to pouze ta část s přibližnou vlnovou délkou 400 – 800 nanometrů. Podle vlnové délky pak dělíme elektromagnetické záření na rádiové vlny, mikrovlnné záření, infračervené záření, viditelné světlo, ultrafialové záření, rentgenové záření a gama záření (obr.1). Všechna tato záření jsou tvořena zmíněnými fotony a jsou tedy potenciálními zdroji tepla. S klesající vlnovou délkou pak vzrůstá i energie, kterou záření nese (Ďoubal, 1997). Fotony červeného světla tedy mají menší energii např. než fotony zeleného světla (Alberts a kol., 1998). Kromě viditelného světla přijímá naše planeta i záření ultrafialové, které má nižší vlnové délky než viditelné záření a má vysokou energii, která může poškozovat molekuly a záření infračervené, které má vlnové délky vyšší než viditelné záření a předává tepelnou energii. Viditelné světlo tak není jediným zdrojem energie, ale pouze jediným zdrojem energie, který jsme schopni bezprostředně pozorovat zrakem.

Záření, které dopadá na hmotu, může být hmotou odráženo (reflexe), pohlceno (absorpce) nebo propuštěno (transmise) a právě absorpce záření je pro využití jeho energie v biologických dějích nezbytná (Pavlová, 2005). Rostliny jsou schopny absorbovat pouze určitou část záření z viditelného spektra, ostatní předměty jsou však schopny absorbovat i ostatní energii z dalších vlnových délek a tím ohřívat okolní prostor. Zatímco tedy za fotosynteticky aktivní záření, tj. záření, které jsou schopny absorbovat fotosyntetické pigmenty rostlin a přeměnit je na energii chemických vazeb, je při určité míře zjednodušení možné považovat elektromagnetické záření v rozsahu

vlnových délek 400 až 700nm (Procházka a kol., 2003), potenciál předat svou energii a působit na zahřátí ostatních těles má znatelně širší spektrum radiace, která má delší vlnovou délku než viditelné záření. Vliv na metabolické procesy rostlin tak můžeme sekundárně přičíst mnohem širšímu spektru záření skrz jejich energii transformovanou v teplo. Působením světelných signálů přicházejících z okolního prostředí a navazujících signálních drah může rostlina předpokládat vývoj změn ve svém okolí a vytvářet na ně příslušné odezvy a řídit svůj vývoj (Gruszka, 2013). O tom jakým způsobem záření generuje teplo a o tom, jak teplo působí na rostliny, pojednávají následující kapitoly této práce.

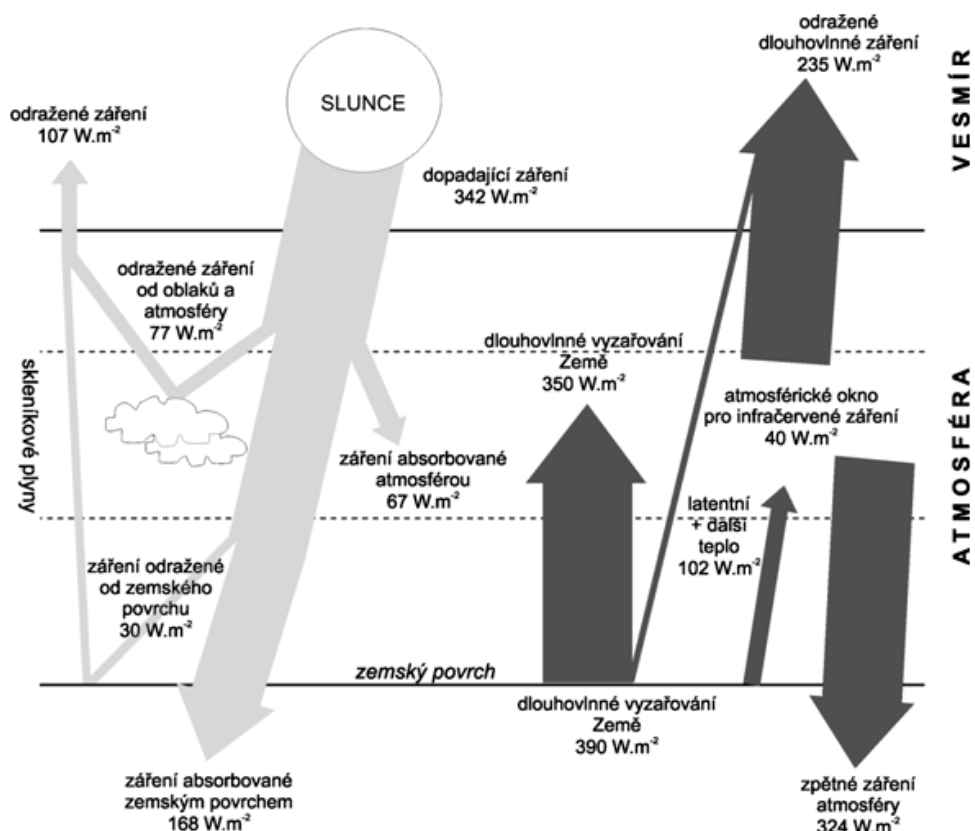
Obrázek 1: Světelné spektrum elektromagnetického záření. Oblast 400 – 800 nm odpovídá oblasti viditelného záření, tedy světla. IR odpovídá infračerveného záření, které poskytuje tepelnou energii. UV – ultrafialové záření. TV – televizní a rádiové vlny. f – frekvence (Hz); λ – vlnová délka (m; nm). Zdroj: <http://fyzika.jreichl.com/>



1.1.1.1. Přeměna energie fotonu na teplo

Foton jako elementární částice elektromagnetického záření nese vždy energii, kterou je schopen předat. Tato energie vyplývá z faktu, že foton je vždy v pohybu, tudíž nese kinetickou energii. Foton se pohybuje směrem od zdroje záření. Slunce k nám vyše každým dnem obrovské množství fotonů. Na povrch atmosféry dopadá záření o energii $1368 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$, tato hodnota se udává jako solární konstanta – množství energie, která dopadá na jednotkovou plochu pod úhlem 90° nad horní hranicí atmosféry (Brázdil a kol., 1986).

Obrázek 2: Schéma energetické bilance slunečního záření při průchodu atmosférou. Zdroj: <http://is.muni.cz/>



Část této energie je pohlcena a na zemský povrch dopadá pouze něco přes 43% záření z celkového množství (Pavlová, 2005). Většina záření se buď odrazí od atmosféry zpět do vesmíru anebo je při průchodu atmosférou pohlceno. Za hlavní filtr v atmosféře pro sluneční záření se udává ozónová vrstva, která filtruje značnou část UV o nižších vlnových délkách než 300 nm. Infračervené záření prostupuje atmosférou a je absorbováno skleníkovými plyny v atmosféře, mezi které patří mimo jiné CO_2 , metan a vodní pára.

Energie propuštěná na zemský povrch je tvořena fotony, které se mohou střetnout na své trajektorii s hmotou. Narazí-li foton na těleso, dochází k jedné ze dvou situací. V té první dojde k odrazu záření od povrchu tělesa. Odraz fotonu od tělesa zpravidla žádnou energii nepřenesou a foton dále pokračuje v trajektorii, která se rovná úhlu dopadu, přičemž zachová svou kinetickou energii (Faynman, 2001). Druhou variantou je stav, kdy je foton tělesem pohlcen a dochází k absorpci záření. Při absorpci záření atomem

tělesa, je elektronům obklopujícím atom dodána jeho energie. Absorpcí fotonu přechází tyto elektrony na vyšší energetickou hladinu, přičemž foton zanikne. Pohlcená energie může být opět vyzařena do prostoru ve formě záření, vždy s větší vlnovou délkou, než bylo záření dopadající. Energie, kterou elektrony atomu získají, však může být následně přeměněna na kinetickou energii těchto částic, tedy vytvořit teplo. Těleso, které absorbuje foton, se tedy zahřeje.

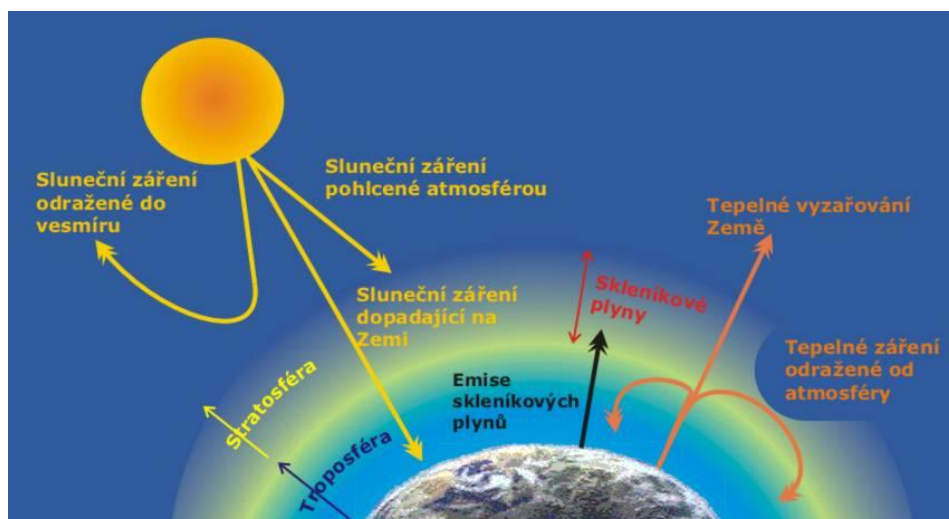
1.1.1.2. Změny klimatu

Klimatologie je vědní obor, který zkoumá dlouhodobý vývoj zemské atmosféry neboli klimatu. Klima pak odpovídá průměrným hodnotám meteorologických parametrů za několik, obvykle tři desetiletí. Změny jednotlivých energetických toků globálního ekosystému jsou impulsem, který může způsobit změnu klimatu. Tyto impulsy mohou být způsobeny přirozenými nebo antropogenními faktory (<http://portal.chmi.cz/>). Současná teorie změny klimatu vychází z teorie skleníkového efektu, zmiňovaného poprvé koncem 19. století. Skleníkový efekt je proces, při kterém část slunečního záření je propuštěna do atmosféry a dopadá na zemský povrch, tím se zemský povrch ohřívá a emituje zvyšující se množství energie ve formě dlouhovlnného infračerveného záření zpět do vesmíru. Část tohoto tepelného záření zpětně vyzařované z povrchu Země je absorbováno skleníkovými plyny v atmosféře a odráženo všemi směry včetně směru k povrchu zemskému (Houghton, 2005). Skleníkové plyny tedy odražené dlouhovlnné infračervené záření absorbují a reemitují zpět k povrchu Země. Skleníkový efekt je přirozená vlastnost atmosféry Země v důsledku přítomnosti skleníkových plynů, která otepluje povrch planety (Obr. 3). Princip skleníkového efektu vyplývá z energetické bilance Země (Obr. 2). Sluneční energie dopadající na Zemi musí být v dlouhodobém režimu vyrovnána celkovému množství energie, které je Zemí vyzařováno jinak by došlo k destabilizaci klimatického systému (http://is.muni.cz/do/rect/el/estud/pedf/js13/fyz_geogr/web/pages/03-prvky.html).

Navíc je třeba připomenout, že hlavním skleníkovým plynem je voda (Boucher a kol., 2004; Pauling a kol., 2006; Zverjajev a kol., 2008). Nicméně doba zadržení vodní páry v atmosféře je velmi krátká, zatímco CO_2 nebo metan a ostatní skleníkové plyny přetrvávají v atmosféře v řádu desítek až tisícovek let, i více. V důsledku zvyšující se

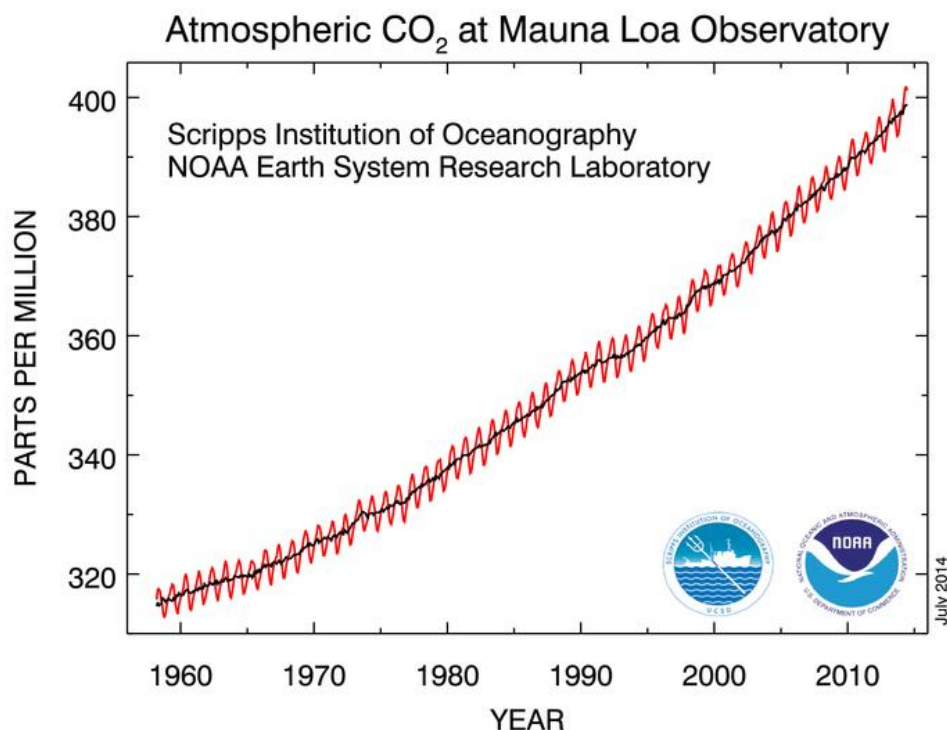
koncentrace CO_2 a dalších skleníkových plynů v atmosféře se zvyšuje i množství dlouhovlnného infračerveného záření, které je skleníkovými plyny pohlcováno a odraženo zpět k zemskému povrchu. To přispívá ke zvyšování průměrné teploty na naší planetě (Kadrnožka, 2008, Nátr, 2000). Je patrné, že mezi teplotou a množstvím CO_2 existuje dlouhodobá korelace (Petit a kol., 1999). Ale někteří autoři tvrdí, že může být závislost opačná a nebo žádná, tj. vyšší teplota způsobuje vyšší koncentraci CO_2 a současný růst CO_2 ve vzduchu nemá na teplotu vzduchu žádný nebo jen nepatrný vliv (Kutílek, 2008; Kovářová a Pokorný, 2010; Pokorný a kol., 2010).

Obrázek 3: Schéma skleníkového efektu v atmosféře Země. Zdroj: http://www.pbhz.cz/praxe/met_con/sklen_efekt.htm



Skleníkový efekt se na Zemi projevuje od jejího vzniku, neboť skleníkové plyny se v její atmosféře vyskytovaly trvale (Nátr, 2006). Co se v průběhu let vysoce změnilo je právě koncentrace CO_2 v atmosféře a společně s tím se měnila i intenzita skleníkového efektu. O rychlosti změn vyvolaných lidskou činností svědčí i údaje, že atmosférická koncentrace CO_2 byla téměř 10 000 let stabilní a pohybovala se okolo 280 ppm až do roku 1750 (www.co2now.org). Od konce 50.let začala být poprvé měřena denní koncentrace CO_2 na meteorologické stanici Mauna Loa na ostrově Hawai (Obr. 4).

Obrázek 4: Průběh koncentrace CO₂ v atmosféře Země podle soudobých exaktních měření na lokalitě Mauna Loa Observatory, Hawaii, od roku 1959. Zdroj: <http://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/#mlo>

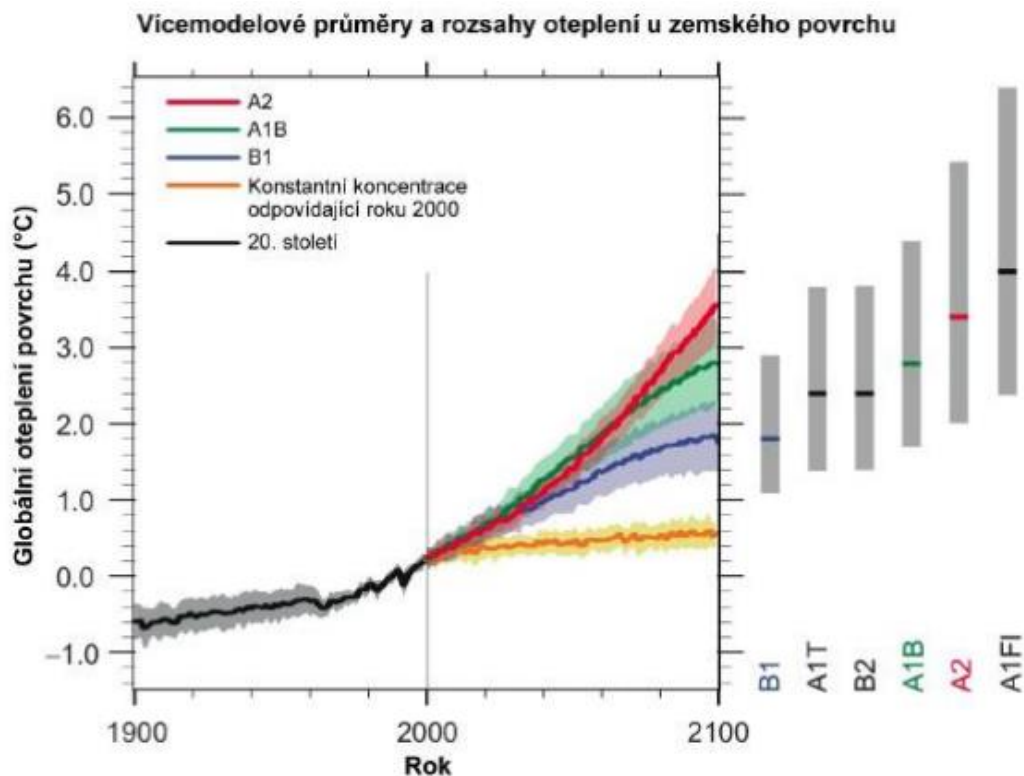


V současnosti je koncentrace CO₂ oproti době před nástupem průmyslové revoluce vyšší o téměř 40% (Kadrnožka, 2008) a její hodnoty se pohybují přes 390 ppm (www.co2now.org). Ke dni 15. 7. 2014 v meteorologické observatoři na Havaii byla naměřena denní hodnota koncentrace CO₂ přes 401 ppm (www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/#mlo). Podle páté hodnotící zprávy IPCC (<http://www.ipcc.ch/report/ar5/>, 2014) mohou nastat různé emisní scénáře, kdy atmosférická koncentrace CO₂ se do konce 21. století může zvýšit v rozmezí na 540 až 970 ppm, vztaženo ke koncentraci z roku 1750 (280 ppm) to představuje zvýšení o 90 až 250 %.

1.1.1.3. Změny teploty

Koncentrace CO₂ ve vzduchu ovlivňuje radiační bilanci Země, tedy poměr mezi množstvím pohlcovaného a emitovaného záření, tato změna má bezprostřední vliv na klima naší Země (Nátr, 2006). Současné modely předpovědi klimatu ukazují v blízké budoucnosti na postupný nárůst okolní teploty a zvýšení ve frekvenci a amplitudě tepelného stresu (Ahuja et al, 2010, Mittler a Blimwald 2010, Mittler et al, 2012). Se změnou klimatu souvisí tedy dlouhodobé změny teploty. Čtrnáct z patnácti let v období 1995–2009 se řadí mezi patnáct nejteplejších let v záznamech o přístrojových pozorováních globální teploty povrchu (od roku 1850) (<http://portal.chmi.cz/>). Podle IPCC došlo mezi lety 1906 až 2005 k nárůstu průměrné globální povrchové teploty asi o 0,74 °C (http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg1/en/faq-3-1.html). Nejnovější projekce změn klimatu v globálním i regionálním měřítku, založené na simulacích globálních klimatických modelů jsou popsány ve čtvrté hodnotící zprávě IPCC z roku 2007 a páté hodnotící zprávě 2013, 2014 (<http://portal.chmi.cz/>, <http://www.ipcc.ch/report/ar5/>). Dle nových odhadů se předpokládá, že velikost změny teploty do konce 21. století bude v rozpětí 1,1 až 6,4 °C (Obr.5), což jsou hodnoty ve větším rozpětí, než uváděly odhady z roku 2001 (nárůst o 1,4 až 5,8 °C). Vyšší teploty bývají doprovázeny dalšími přírodními extrémními počasí, jako je například sucho, což by mohlo výrazně ovlivnit produkci plodin na celém světě (IPCC, 2008, 2014). Je známo, že zvýšení teploty usnadňuje šíření některých patogenů, a to i u zemědělských plodin (Bale et al, 2002; Luck et al, 2011; Madgwick et al, 2011; Nicol et al, 2011). Například se jedná o houbu *Pseudocercospora herpotrichoides*, původce pravého stéblolamu či *Mycosphaerella graminicola*, která vyvolává suchou listovou skvrnitost pšenice (Sychrová, 2005).

Obrázek 5: Odhady změny teploty do konce 21. století dle modelových scénářů IPCC.
Zdroj: http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/meteo/ok/klimazmena/files/cc_chap08.pdf



Zdroj: IPCC - AR4

Tabulka 1: A) Přehled scénářů SRES včetně variant ekonomického, politického a společenského vývoje. B) Projekce předpokládané průměrné roční globální teploty v posledním desetiletí 21. století ve srovnání s roky 1980–1999 při různých emisních scénářích. Zdroj: Metelka a Tolazs, 2009, http://amper.ped.muni.cz/gw/jev/dobre/Klima_zmeny_fakta.pdf.

A)

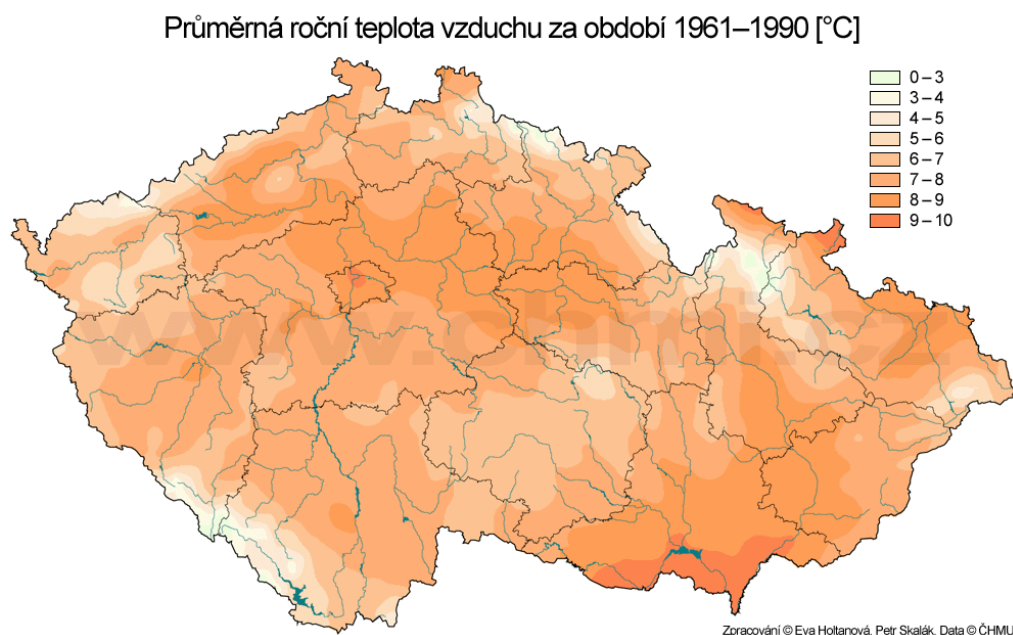
Scénář	Ekonomický růst	Populace	Technologický pokrok	Globálnost/lokálnost vývoje
A1	Rychlý	9 miliard v roce 2050, pak postupný pokles	Rychlý rozvoj nových technologií	Konvergentní svět, příjmy a způsob života se vyrovnávají, velká kulturní a sociální interakce mezi různými částmi světa
Varianta A1FI (Fossil Intensive)		Důraz na spalování fosilních paliv		
Varianta A1B (Balanced)		Vyvážený důraz na různé energetické zdroje		
Varianta A1T (Technological)		Důraz na nefosilní zdroje energie		
A2	Pomalejší	Postupně rostoucí	Pomalejší	Regionálně orientovaný, nízké tempo globalizace
B1	Rychlý (jako A1)	Jako A1	Důraz na ekologická řešení	Globální řešení problémů
B2	Střední	Postupně rostoucí, ale pomaleji než v A2	Střední, důraz na ekologická řešení	Regionálně orientovaný

B)

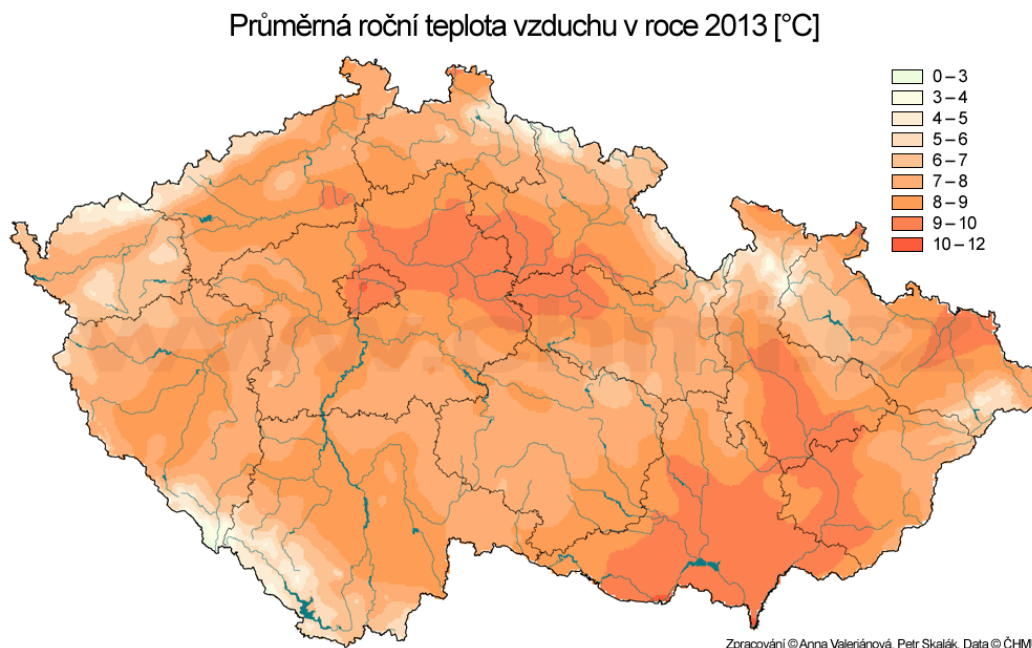
Scénář	Střední odhad	Dolní odhad	Horní odhad
A1FI	+4,0	+2,4	+6,4
A1B	+2,8	+1,7	+4,4
A1T	+2,4	+1,4	+3,8
A2	+3,4	+2,0	+5,4
B1	+1,8	+1,1	+2,9
B2	+2,4	+1,4	+3,8

K porovnání změny teplot na území České Republiky poslouží ilustrační mapa průměrných ročních teplot, které jsou pravidelně publikované Českým Hydrometeorologickým ústavem (Obr. 6 a 7). Na obr. 6 jsou průměrné teploty za 30 let v období 1961-1990. Průměrné teploty za r. 2013 (obr. 7) jsou v řadě oblastí výrazně vyšší. Právě posun středních hodnot meteorologických parametrů od průměrných hodnot za předchozí třicetileté období odpovídá projevům změny klimatu.

Obrázek 6: Mapy charakteristik klimatu, dlouhodobá průměrná roční teplota vzduchu 1961 - 1990. Zdroj: <http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/meteo/ok/images/t6190.gif>



Obrázek 7: Mapy charakteristik klimatu, průměrná roční teplota vzduchu 2013. Zdroj: <http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/meteo/ok/images/t13.gif>



1.1.2. Vliv teploty na fyziologické procesy rostlin

Vzhledem k přisedlému životnímu stylu rostlin, jsou rostliny trvale vystaveny široké škále vlivů okolního prostředí. Hlavní abiotické faktory, které mají vliv na rostliny a plodiny, jsou intenzivně studovány (Cavanagh a kol., 2008; Munns a Tester, 2008; Chinnusamy a Zhu, 2009; Mittler a Blumwald, 2010). Mezi stresové faktory prostředí patří například sucho, salinita, teplota, vysoká intenzita záření a další. Dále je popsáno, jak teplota ovlivňuje vybrané fyziologické procesy v rostlině.

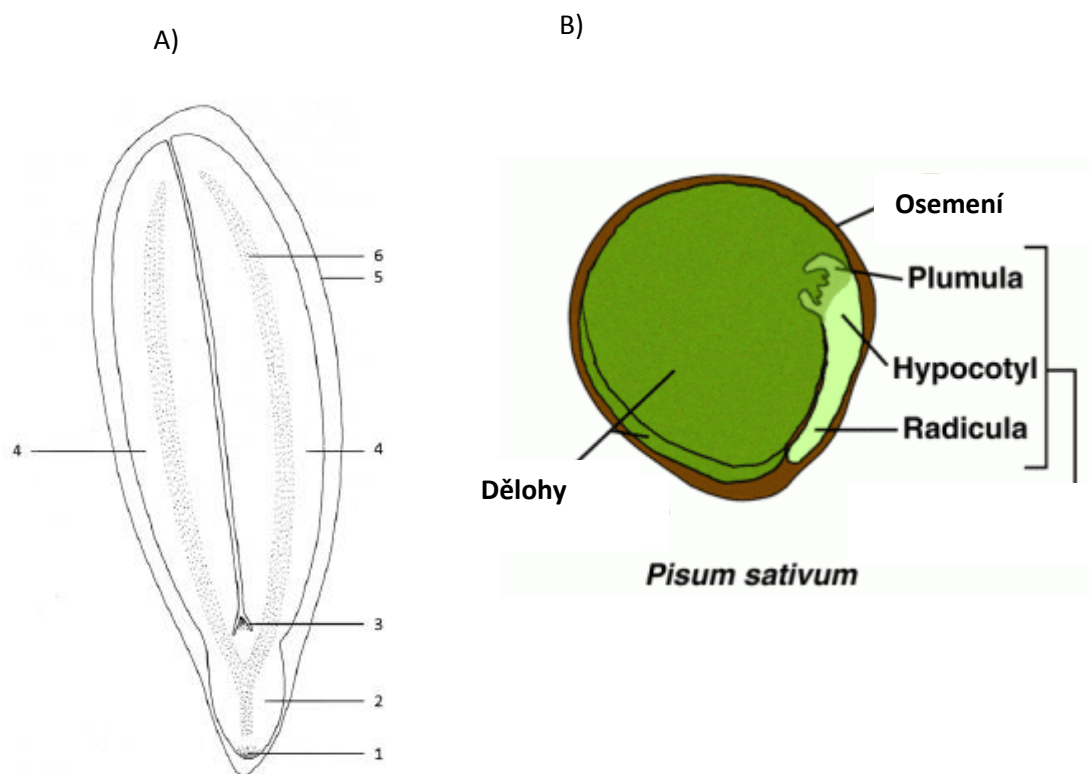
Teplota má pro fyziologické procesy rostlin klíčový význam. Pro každou chemickou reakci platí, že doba nutná k jejímu uskutečnění je proměnná a závisí především na koncentraci výchozích látek, na teplotě, při které reakce probíhá a na přítomnosti nebo nepřítomnosti katalyzátorů. Tedy teplota ovlivňuje metabolické procesy v rostlině prostřednictvím svého působení na reakční kinetiku chemických dějů a na účinnost různých enzymů v nich zapojených. V chemické praxi se používá orientační Van't Hoffovo pravidlo, podle kterého se reakční rychlost s teplotou zvyšuje exponenciálně. Van't Hoffovo pravidlo uvádí, že při zvýšení teploty výchozích látek o 10 °C způsobí dvojnásobné až trojnásobné zvýšení reakční rychlosti (Procházka, 2003).

Teplota, při které je rychlost růstu nejvyšší se označuje jako teplotní optimum a hodnoty při kterých růst začíná či ustává, se označují jako teplotní minima či maxima. Rostliny jsou schopny se do jisté míry adaptovat na teplotu, ve které delší dobu rostou. Dle hodnot růstového optima jsou druhy hrubě charakterizovány jako megatermní (teplobytné rostliny s optimy nad 20°C), mezotermní (se středními nároky až citlivé k nízkým teplotám) a mikotermní (chladnobytné s optimy mezi 10 °až 5 °C) (Pavlová, 2005). Při zvyšujících se teplotách se však mění také biologicky významné fyzikální charakteristiky, např. hodnoty difúzních koeficientů, rozpustnost látek ve vodě a další. V závěru se všechny tyto změny fyziologického a fyzikálního typu podepisují na vývoji a růstu rostlin. V dalších kapitolách uvažujeme takové působení teplot na rostliny, které bezprostředně nenavozují rostlinný stres, ať už způsobený vystavením vysokým či nízkým teplotám. Další kapitoly poskytnou náhled na vliv teploty na jednotlivé fyziologické děje.

1.1.2.1. Vliv teploty na klíčení rostlin

Klíčení obecně představuje fázi životního cyklu, která následuje po fázi dormance semene. Klíčení aktivuje metabolické dráhy v semeni, které umožní další vývoj embrya. Během tohoto procesu se prodlužují buňky radikuly a hypokotylu embrya.

Obrázek 8: Schéma A) embrya (zárodku jaloně (*Malus sylvestris* L.) 1 – radikula, základ kořene, 2 – hypokotyl, stonkový článek podděložní, 3 – plumula, základ prýtu, 4 – dělohy, 5 – osemení, 6 – prokambium, dělivé pletivo (Votrubová, 2010). B) klíčícího semene hrachu setého (*Pisum sativum* L.). Embryo je tvořeno embryonálním základem nadzemní částí, tj. plumulou, základem hypokotylu a základem kořene, tj. radikulou. Zdroj: <http://filsafat.kompasiana.com/2011/04/17/sebutir-benih-di-situ>



Podmínku pro obnovení metabolické aktivity v semeni je rehydratace pletiv, která vede ke zbobtnání semene a dostatečný přístup kyslíku. Právě teplota ovlivňuje samotnou resorpci vody semeny, a to tak, že zvýšení teploty zvyšuje zároveň příjem vody (při růstu o 10°C 1,6- až 2krát)(Procházka a kol., 1998). Kyslík je nutný pro respiraci a společně s enzymatickou a hormonální aktivitou jsou tyto procesy nezbytné k uvolnění energie ve formě ATP, kterou získávají ze zásobních látek uložených v embryu nebo v endospermu. Teplota je důležitá při dozrávání plodů a semen, jejich skladování a

v prvních dnech po výsevu (teplá voda proniká do semene rychleji než voda studená).

Obecně má teplota během klíčení stejný vliv jako při samotném růstu rostliny. Rozlišují se zde kardinální body abiotického faktoru teploty, což jsou teploty, při nichž klíčení buď ustává (minimum a maximum), nebo probíhá nejrychleji (optimum). Pro každý rostlinný druh jsou kardinální hodnoty pro klíčení semene různé (Tab. 2). Některé druhy mají na výši teploty specifické požadavky, určitý význam má i kolísání teplot a rozdíly mezi nejvyšší a nejnižší teplotou.

Tabulka 2: . Kardinální teplotní charakteristiky (ve °C) pro klíčení semne. Podle Němce a Pastýrika, 1956, , Novíkova 1961. Čvančary 1962 a Larchera, 1988.

	Minimum	Optimum	Maximum
Pšenice obecná (<i>Triticum sativum</i> L.)	3 – 4	25	30 – 32
Ječmen (<i>Hordeum vulgare</i> L.)	3 – 4	20	28 - 30
Kukuřice (<i>Zea mays L.</i>)	8 – 10	35	45
Fazol obecný (<i>Phaseolus vulgaris L.</i>)	8 – 10	33	37
Okurka (<i>Cucumis sativus</i> L.)	15 – 18	31 - 37	40 - 50
Jetel luční (<i>Trifolium pratense</i> L.)	1 – 2	30	37
Jehličnany mírného pásma	4 – 10	15 - 25	35 - 40

1.1.2.2. Vliv teploty na fotosyntézu

Fotosyntéza je složitým souborem reakcí, které jsou nemyslitelné bez elektromagnetického záření ve viditelné části spektra. Energie fotosynteticky aktivního záření (PAR) je procesem fotosyntézy přeměněna na energii chemických vazeb organických látek, tak aby mohla být v budoucnu užita pro metabolismus rostlin.

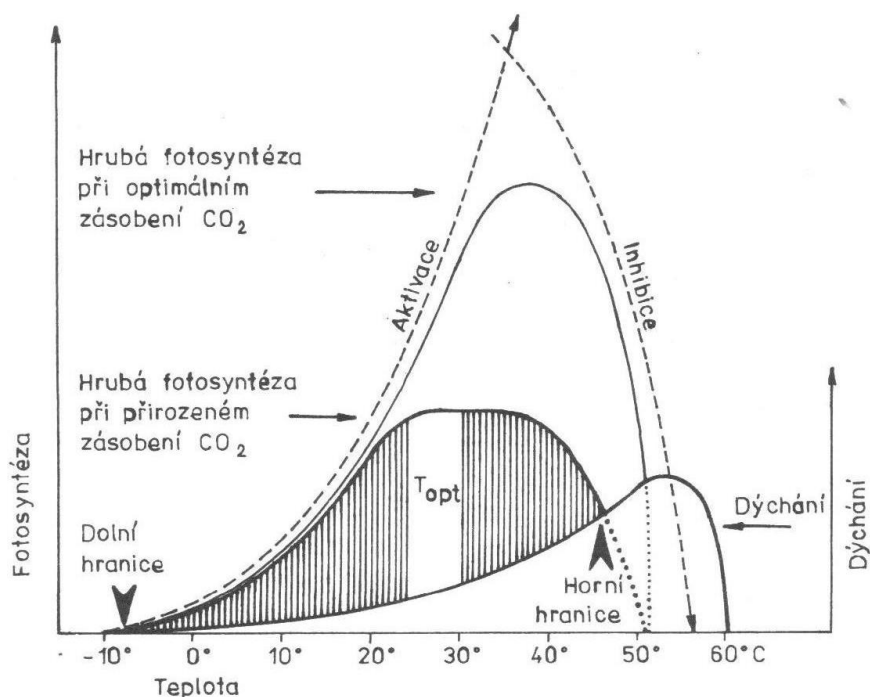
Obecně platí, že s vyšší mírou PAR dochází k podpoře fotosyntetických reakcí, pokud nejsou limitovány ostatními faktory prostředí (např. koncentrací CO_2), přičemž podstatný je i rozsah povrchu rostlinných orgánů vystavený PAR. Nelze opomenout rozptyl světla, kdy rozptýlené světlo může lépe projít k fotosynteticky aktivním pigmentům a významněji podpořit proces fotosyntézy, než světlo směřované, kdy snadno dojde k saturaci rostliny světlem. Tak například zatažená obloha může pro rostlinu v konečném důsledku znamenat vyšší míru expozice záření a tím intenzity fotosyntetických procesů, než jasné nebe (REN, 2014). Podstatnou roli hraje pro proces fotosyntézy i kvalita světla, tedy konkrétní vlnová délka PAR. Rostliny především využívají energii záření v oblasti modrého a červeného viditelného záření, což odpovídá absorpčním vlnovým délkám pro chlorofyly a a b. Při užití červeného světla je účinnost fotosyntézy přibližně o polovinu vyšší než při vystavení světlu modrému. (Procházka a kol., 2003). Elektromagnetické záření je tak v průběhu fotosyntézy nutnou podmínkou její existence, přičemž s přihlédnutím k výše uvedeným vlivům, s pozitivním vlivem intenzity PAR dochází ke zvýšení rychlosti čisté fotosyntézy. Zároveň je elektromagnetické záření zdrojem tepla okolního prostředí, které patří mezi abiotické faktory, jež ovlivňují celý proces fotosyntézy. Předmětem této kapitoly je shrnutí fotosyntetických dějů a vlivu teploty na ně, nedochází-li k ovlivnění fotosyntézy změnou světelných podmínek.

Teplota ovlivňuje životní procesy rostliny obecně a působí na fotosyntézu na mnoha různých úrovních. Výše teploty ovlivňuje především aktivitu enzymů a rychlost biochemických reakcí a v procesu fotosyntézy se jedná hlavně o fixaci CO_2 , redukci kyseliny 3-fosfoglycerové (3-PGA) a regeneraci substrátu v Calvinově cyklu (Pavlová, 2005). Pro prozkoumání vlivu teploty na fotosyntetické procesy se v této práci uvažuje

takové rozmezí teplot, které nepoškodí fotosyntetický aparát. Tedy takové rozmezí teplot, které se neblíží ani k minimálním ani k maximálním kardinálním hodnotám daného rostlinného druhu. U různých rostlinných druhů se tato rozmezí liší. Například rostliny mírného pásma fotosyntetizují v rozmezí 7 až 40 °C a rozsah optimálních teplot tropických druhů rostlin, kdy fotosyntéza probíhá bez problému, se nachází mezi 15 až 40 °C (Berry a Raison 1981; Downton, Berry a Seemann 1984; Bunce 2000). Při dlouhodobějším působení nízkých či vysokých teplot může dojít k posunu těchto kardinálních hodnot v závislosti na genotypu rostliny. A tyto kardinální body teploty nejsou konstanty, ale mění se i se stářím rostliny (Procházka a kol., 2003).

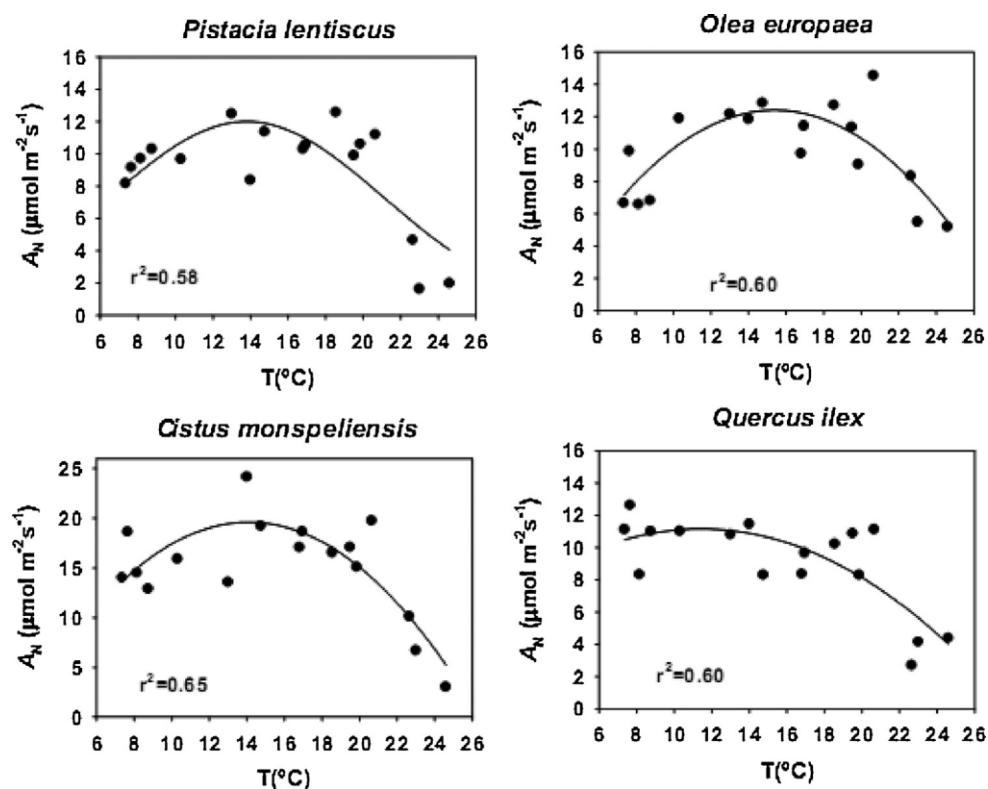
Křivku rychlosti čisté fotosyntézy rozsahem závislosti na teplotě lze rozdělit na tři fáze. První fáze je na obrázku 9 znázorněna jako oblast rostoucí, ve které zvyšující se teploty mají stimulační účinky na rychlost fotosyntézy. V druhé fázi se s rostoucí teplotou rychlost fotosyntézy nemění, je limitována jinými faktory než teplotou. V závěrečné fázi křivka klesá a rostoucí teplota tudíž má účinky inhibiční na výsledný produkt čisté fotosyntézy. Tyto tři fáze jsou vymezeny třemi základními body: teplotním minimem, teplotním optimem a teplotním maximem čisté fotosyntézy (Obr. 9).

Obrázek 9: Schématické znázornění teplotní závislosti fotosyntézy a respirace. Hrubá fotosyntéza se při aktivaci enzymů zvyšuje do té míry, až inhibiční účinek tepla začne fotosyntetickou aktivitu enzymů snižovat. Rozdíl mezi hrubou fotosyntézou a dýcháním je čistá fotosyntéza (šrafovaná plocha). Při vysokých teplotách rychlost fotosyntézy prudce klesá a současně se zrychluje dýchání. Zdroj: Larcher, 1988.



Při dlouhodobějším působení nízkých či vysokých teplot může dojít k posunu těchto kardinálních hodnot. Vztah mezi čistou fotosyntézou a teplotou vzduchu u rostlinných stálezelených druhů pocházející z oblasti Středozemního moře, jako je Řečík lentišek (*Pistacia lentiscus* L.), Olivovník evropský (*Olea europaea* L.), Cist montpellierský (*Cistus monspeliensis* L.) a Dub cesmínovitý (*Quercus ilex* L.), je dobře znázorněn na obrázku 10. Teoreticky se jejich teplotní optima pohybují kolem 25 – 30 °C, v praxi se zobrazí maximální fotosyntéza při nižších teplotách, protože když dojde k nárůstu teploty je to často doprovázeno změnou i dalších podmínek, jako je nadměrná ozářenost či vodní deficit (Flexas a kol., 2013).

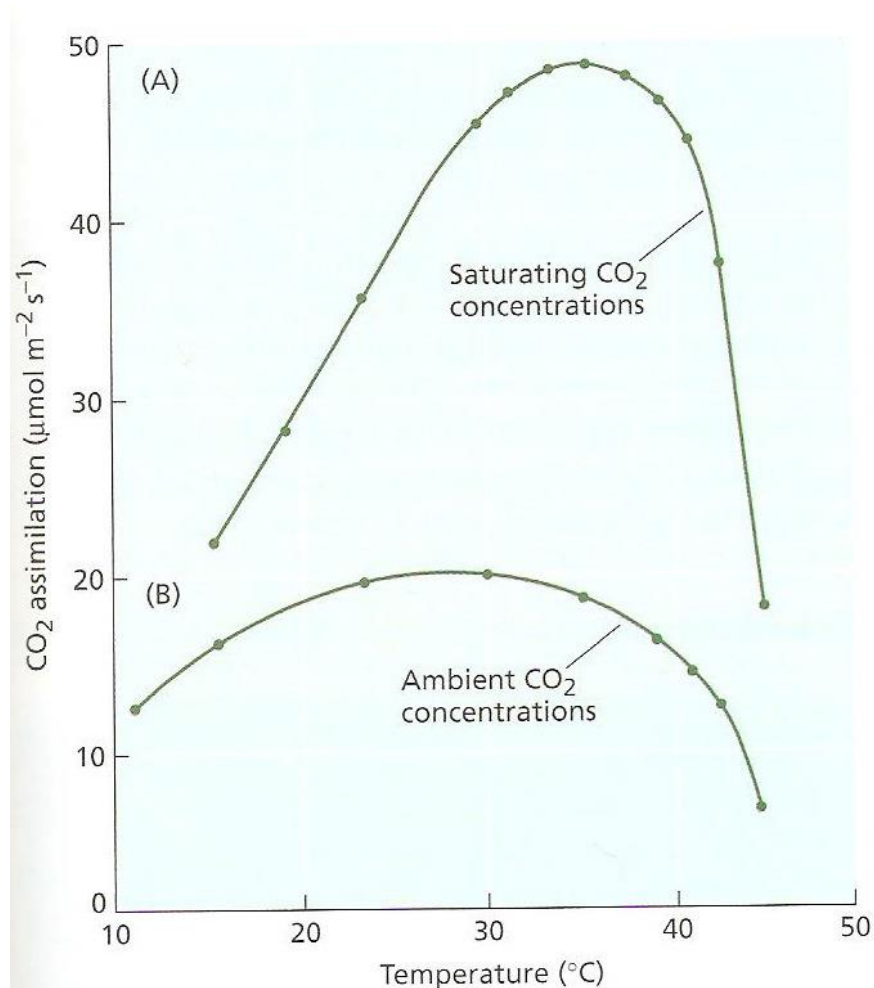
Obrázek 10: Vztah mezi čistou fotosyntézou (A_N) a teplotou vzduchu (T , °C) pro různé druhy rostlin. *Pistacia lentiscus* L., *Olea europaea* L., *Cistus monspeliensis* L. a *Quercus ilex* L. Kombinace dat z průběhu tří let a čtyř lokací na Mallorce ve Španělsku (data od Gulias et al, 2009). Zdroj: Flexas a kol., 2013.



Hodnota teploty, při které fotosyntéza dosahuje více než 90% možného maxima, se označuje jako teplotní optimum. Teplotní optima rychlosti čisté fotosyntézy mají užší rozsah než rozsah optimálních teplot pro příjem CO_2 , protože postupně rostoucí rychlost dýchání čistý výtěžek fotosyntézy snižuje (Larcher, 1988). Teplotní optima jsou

pevně zabudovány v genetické informaci rostlin (Taiz a Zeiger, 2002), ale rovněž závisí na podmínkách, v nichž se rostliny během svého růstu vyskytovaly a adaptovaly. Například s vyšší koncentrací CO_2 se mění teplotní optimum a toto optimum se posouvá k vyšším teplotám a výrazně se zužuje. Při zvýšení koncentrace CO_2 na $450 \mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$ se zvýší teplotní optimum o 2°C , zvýšení na $550 \mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$ se zvýší o 5°C a na $650 \mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$ o 6°C (Drake a kol., 1997). Působení změny teploty a koncentrace CO_2 na rychlost fotosyntézy je takové, že zvyšující se koncentrace CO_2 zvyšuje rychlost fotosyntézy výrazněji při vyšších teplotách než při nižších (Obr. 11). Díky posunutí optima rychlosti fotosyntézy při saturaci k vyšším teplotám může zvýšení koncentrace CO_2 výrazně zvýšit rychlost čisté fotosyntézy listu především při vyšších teplotách (Canell, 1998).

Obrázek 11: Rychlost fotosyntézy při optimálním zásobení CO_2 (A), rychlost fotosyntézy při přirozeném zásobení CO_2 (B) v závislosti na teplotě. Převzato Taiz a Zeiger.



Teplota má vliv na rychlost difúze CO₂ a na jeho rozpustnost ve vodě (Pavlová, 2005). S teplotou se mění i poměr rozpustnosti CO₂ a O₂ (Tab. 3) a díky tomu se mění rychlost fotosyntézy a fotorespirace (Griffin, 1996).

Tabulka 3: Závislost rozpustnosti kyslíku a oxidu uhličitého (mg/l) na teplotě (°C) při tlaku vzduchu 101.3kPa (0 m nad mořem). Zdroj: http://is.muni.cz/el/1431/podzim2011/C5160/um/2407143/stanoveni_kysliku.pdf

t/°C	0	5	10	15	20	25	30	35	40
O ₂	14,8	12,9	11,5	10,4	9,45	8,69	8,05	7,52	7,07
CO ₂	1,22	-	0,85	-	0,62	-	0,47	-	-

Další omezení rychlosti fotosyntézy, které je zapříčiněno teplotou, je změna vodivosti mezofylu pro CO₂ (gm). Vodivost mezofylu je definovaná jako vodivost přenosu CO₂ z mezibuněčných prostor listu do místa karboxylace v chloroplastu. Zpočátku bylo předpokládáno, že tato vodivost je dostatečně velká, aby měla zanedbatelný vliv na fotosyntézu (Farquhar a kol., 1980). Pro pozitivní průběh fotosyntézy je rozhodující koncentrace molekul CO₂ ve stromatu chloroplastů, kde dochází k jejich zapojení do Calvinova cyklu za pomoci enzymu Rubisco. Současné výzkumy naznačují, že gm může být dostatečně malá, aby výrazně snížila koncentraci CO₂ v místě karboxylace, vzhledem k mezibuněčnému prostoru, čímž je omezena rychlost fixace CO₂ (Harley et al, 1992,. Loreto et al . 1992, Evans et al, 1994,. Von Caemmerer et al, 1994,. Eichelmann a Laisk, 1999, von Caemmerer, 2000). Díky tomuto snížení koncentrace CO₂ vodivost mezofylu fotosyntézu značně limituje (Epron a kol., 1995; Evans a kol., 1986; Lloyd a kol., 1992; Warren a kol., 2003; Warren, 2008). Bernacchi a kol. (2002) zjišťovali změnu velikost vodivosti mezofylu v závislosti na teplotě u tabáku (*Nicotiana tabacum*), v rozmezí teplot od 10 do 40°C. gm s rostoucí teplotou rostla exponenciálně až do teploty 35°C. Mezi teplotami 35 a 37,5°C dosáhla maxima a při vyšších teplotách již klesala (Bernacchi a kol., 2002).

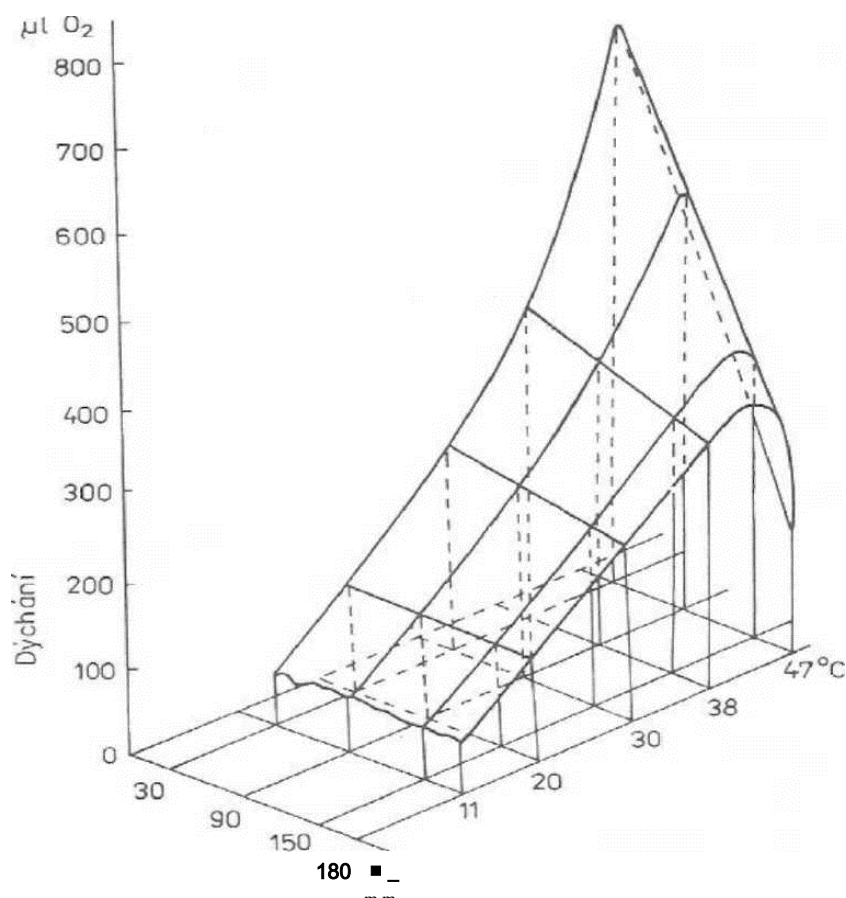
Fotosyntéza je značně omezena rychlostí pohybu CO₂ z mezibuněčného prostoru do chloroplastu (Bernacchi a kol., 2002). Mnoho studií se soustředilo na vztah mezi mírou fotosyntézy a vodivostí mezofylu a ve většině z nich byla prokázána pozitivní korelace mezi rychlostí čisté fotosyntézy a mírou gm. Např. u *Arabidopsis thaliana* došlo při

snížení gm o 67% k poklesu rychlosti čisté fotosyntézy o 40% (Flexas a kol., 2007). Pokles v gm o 50% u *Fagus sylvatica* došlo ke snížení rychlosti čisté fotosyntézy o 64% (Warre a kol., 2007).

1.1.2.3. Vliv teploty na dýchání rostlin

Další proces, který je u rostlin výrazně ovlivněn teplotou je dýchání nebo-li respirace. Zároveň se jedná o děj, který je zásadní pro klíčení semen. Dýcháním se spotřebovává energie uložená v sacharidech a dalších zásobních látkách, spouští se postupný systém oxidoredukčních reakcí v buňkách, při kterých se z organických látek uvolňuje energie, která je důležitá pro syntézu různých metabolitů. Výtěžek čisté fotosyntézy je ovlivněn respirací rostlin, která se stoupající teplotou mění svojí rychlost. Respiraci lze charakterizovat rychlostí respirace, která vyjadřuje jako výdej CO₂ nebo spotřeba O₂ za jednotku času (s) a vztahuje se k jednotkové čerstvé hmotnosti (g), k hmotnosti jednotce sušiny (g) nebo k obsahu proteinů (Pavlová, 2005). Teplotní závislost rychlosti dýchání vykazuje optimum v rozmezí 30 až 40 °C a maximum nad 50 °C (Procházka a kol., 2003). Teplotní minimum pro dýchání závisí na druhu rostliny. Rostliny přezimující, pupeny stromů s opadavými listy a jehlice jehličnanů dýchají ještě při teplotách -20 až -25 °C, avšak teplomilné rostliny jsou poškozovány i teplotami nad bodem mrazu. Při nízkých teplotách pod 5 °C je aktivační energie pro procesy zahrnuté v dýchání velká a koeficient Q_{10} je vysoký. Koeficient Q_{10} udává změnu rychlosti dýchání v závislosti na změně teploty o 10 °C. V rozmezí 25 - 30 °C teplotní koeficient respirace klesá téměř u většiny rostlin na 1,5 a méně. Avšak při vyšších teplotách začínají být biochemické procesy tak rychlé, že přísun substrátu a metabolitů neudrží tempo s přeměnou látek a energie. Rychlost dýchání pak klesá velmi rychle (Obr.12). Při teplotách mezi 50 - 60 °C jsou enzymy a funkčně důležité membránové struktury teplem poškozovány a denaturovány, dýchání ustává.

Obrázek 12: Teplotní závislost temnostního dýchání listu *Podophyllumpeltatum*. Převzato: Larcher, 1988.



1.1.2.4. Vliv teploty na C3 a C4 rostliny

Více než 90% terestrických druhů rostlin asimiluje CO_2 cestou C3 metabolismu (Ku a kol., 1996). U C3 rostlin je prvním stabilním produktem fixace CO_2 fosfoglycerát obsahující 3 atomy uhlíku (Griffin, 1996). Účinnost C3 cyklu je ovšem omezena nízkou afinitou enzymu Rubisco k atmosférickému CO_2 a též oxygenázovou aktivitou enzymu Rubisco.

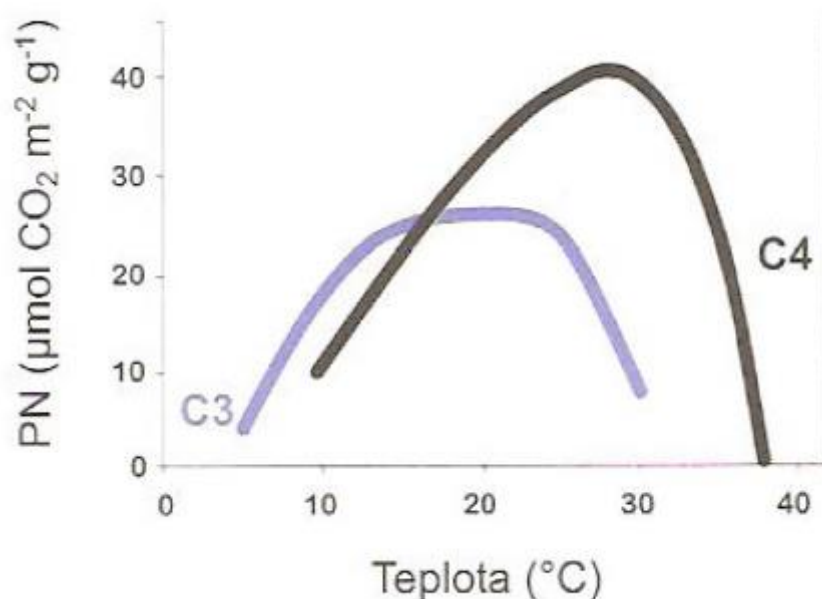
C4 je označení skupiny rostlin, které se liší od C3 rostlin ve způsobu fixace oxidu uhličitého. Molekula CO_2 je nejprve fixována v buňkách mezofylu, kde dochází k vazbě hydrogenuhličitanového aniontu s fosfoenolpyruvátem enzymem PEPkarboxyláza. Touto reakcí vzniká oxalacetát. Oxalacetát tvoří první stabilní meziprodukt, který

obsahuje čtyři uhlíky, tak vzniklo označení C4 rostliny. Oxalacetát se v mezofylové buňce přeměňuje na malát nebo aspárát, a tyto sloučeniny jsou transportovány do pochev cévního svazku. Dekarboxilací je z těchto sloučenin uvolněno CO₂, které je znovu fixováno, tentokrát Calvinovým cyklem, nebo-li na způsob C4 rostlin dále navazuje metabolismus C3 rostlin.

Předpokládá se, že C4 typ se vyvinul z typu C3 a bylo dokázáno 45 nezávislých vzniků tohoto typu fotosyntetického metabolismu u 19 čeledí vyšších rostlin (Sage, 2004). Pravděpodobně fotosyntéza typu C4 vznikla proto, aby rostliny zamezily fotorespiraci a tím energetickým ztrátám. Z odhadovaných 2 500 000 rostlinných druhů vyskytující se na Zemi se u 7 500 druhů vyskytuje C4 typ fotosyntézy (Sage, 2004).

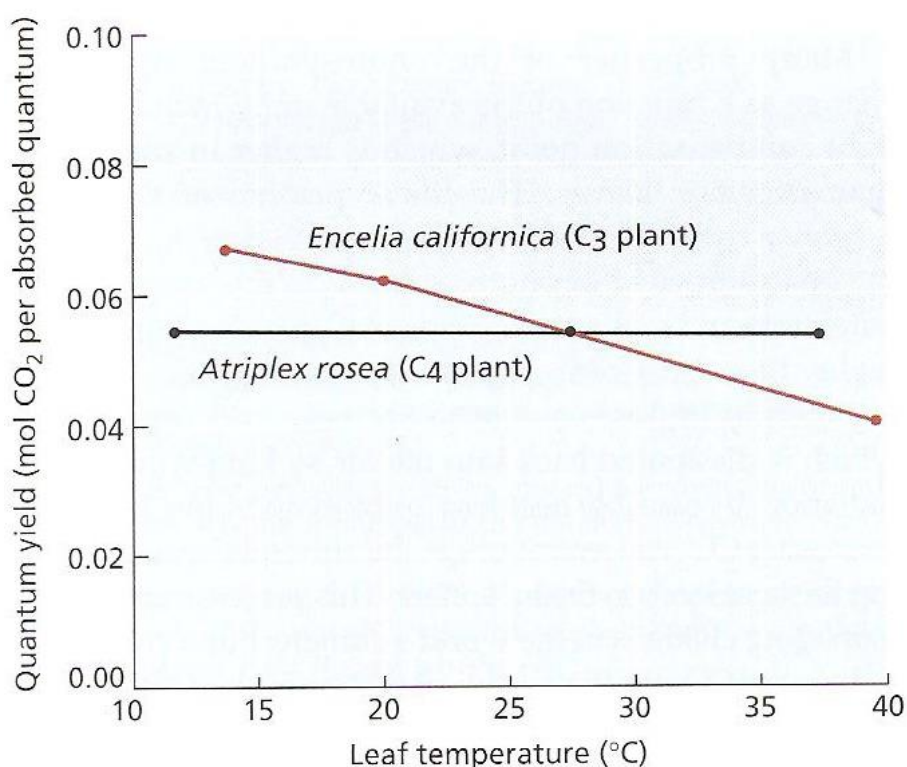
Rostliny C4 mají kardinální hodnoty obecně vyšší než je tomu u C3 rostlin, proto i rychlost fotosyntézy C4 rostlin při vyšších teplotách je výrazně rychlejší než u rostlin využívající metabolismus typu C3 (Obr. 13). Pro většinu C4 rostlin leží teplotní optima mezi 30 °C a 40 °C a v některých případech dosahují až 50 °C. U C3 rostlin mohou být kardinální optima kdekoliv v širokém rozsahu teplot, v závislosti na ekologické charakteristice rostliny.

Obrázek 13: Rychlost čisté fotosyntézy v závislosti na teplotě u C3 a C4 rostlin. Zdroj: Nátr, 2006.



Rostoucí teplota má rozdílný vliv na spotřebu množství CO_2 u C_3 a C_4 rostlin (Obr. 14). Množství spotřebovaného CO_2 u C_3 rostlin klesá se zvýšením teploty v důsledku fotorespirace, která je vyšší teplotou stimulovaná. Tím pádem klesá rychlost čisté fotosyntézy u C_3 rostlin. Rostoucí teploty spotřebu CO_2 u C_4 rostlin nijak neovlivní a rostliny spotřebovávají pořád stejné množství oxidu uhličitého. Tyto rozdíly u C_3 a C_4 rostlin hrají významnou roli při jejich adaptaci na vnější podmínky.

Obrázek 14: Změny ve spotřebovaném množství CO_2 vlivem rostoucí teploty v C_3 a C_4 listů. Zdroj: Taiz a Zeiger, 2002.



Tyto změny ve fotosyntetických vlastnostech hrají důležitou roli rostlin při jejich adaptaci na vnější podmínky. Rostliny jsou pozoruhodně variabilní, co se týče přizpůsobování na okolní teploty.

1.1.2.5. Vliv teploty na fotorespiraci

Ztráty CO₂ fotorespirací nejsou zanedbatelné a zvyšují se s rostoucí teplotou prostředí. Tedy u C₃ rostlin se zvyšující se teplotou se uplatňuje fotorespirace, jelikož poměr oxygenázové aktivity Rubisco k aktivitě karboxylační roste s teplotou. Z několika studií, které se zabývaly teplotní závislostí fotorespirace, vyplývá, že fotorespirace, závisí na teplotě stejně jako dýchání ve tmě. Rychlost těchto procesů (dýchání a fotorespirace) stoupá s teplotou i poté, co fotosyntéza narazí na difúzní omezení. Pro pozitivní růstové a vývojové procesy je nutné, aby celkové množství asimilovaného CO₂ převyšovalo množství CO₂, které se uvolňuje respirací a fotorespirací. U C₄ rostlin je tomu jinak, neboť primárním akceptorem CO₂ není Rubisco, ale PEP (fosfoenolpyruvát) karboxyláza, která oxygenázovou aktivitu nemá.

1.2. Didaktická část

Podle mezinárodních studií z posledního desetiletí, které se soustředily na vědomosti, dovednosti a zájem žáků o přírodní vědy vyplynulo, že zájem žáků o přírodní vědu a techniku je nízký a nadále klesá. Problematikou spojenou s nezájmem o tyto vědy a jejich výukou se také intenzivně zabývá Evropská unie, která doporučuje aplikaci nových pedagogických metod, a to zejména takových, které využívají badatelského přístupu ve výuce (Rochard a kol., 2007). Plánování, zpřesňování a realizace pokusů tvoří důležitou část procesu osvojování si klíčových konceptů. Dovednosti spojené s badatelským přístupem k výuce jsou v současné době považovány v přírodních vědách za prioritní (Čudová a kol., 2013).

1.2.1. Badatelsky orientovaná výuka

Samotná definice slova bádání (v anglické znění *inquiry*) je vymezována mnoha různými způsoby. Původ slova *inquiry* je v latině, *inquirō* = vyhledávat, pátrat po něčem. Pro různá vymezení tohoto pojmu se nalézá společný průnik. *Inquiry* je cílevědomý proces formulování problémů, kritického experimentování, posuzování alternativ, plánování a

zkoumání a ověřování, vyvozování závěrů, vyhledávání informací, vytváření modelů studovaných dějů, rozpravy s ostatními a formování koherentních argumentů (Linn, Davis, Bell, 2004). *Inquiry* je tedy zároveň strategií vyučování i modelem pro pedagogický postup (Bybee, 2004).

Celé slovní spojení badatelsky orientovaná výuka označuje postup, který se dá definovat jako moderní a aktivizující pojetí výuky a může zahrnovat různé výukové metody, jejichž skladba není jednotně daná ani z hlediska pestrosti, ani z hlediska pořadí (Dostál, J., 2013). Základním a pevným kamenem této metody je schopnost spojit vědomosti a zkušenosti s vědeckými postupy a dojít přes vytvoření hypotéz až k ověřeným závěrům. Pomáhá tedy rozvíjet přírodovědné kompetence, jež tvoří jádro definice přírodovědné gramotnosti v mezinárodním pojetí projektu PISA (Radvanová, 2011). OECD (2003) definuje přírodovědnou gramotnost jako schopnost využívat přírodovědné vědomosti, klást otázky a z daných skutečností vyvozovat závěry, které vedou k porozumění světu a přírody. Právě v této oblasti jsou podle Czesané a kol. (2009) žáci významně méně úspěšní oproti pouhé aplikaci vědomostí.

Tato metoda upravuje i roli učitele, která se opět trochu navrácí k původnímu výkladu slova pedagog, z řeckého *paidagógos* (*paidós*: dítě, *ágein*: vést, doprovázet). Tedy učitel by neměl předávat žákovi informace v hotové podobě, ale spoluúčastí otázky a motivace žáka vést k určité problematice nebo úkolu. Zodpovězení dobře a srozumitelně formulovaných otázek typu „Jak to zjistit?“, „Co jsme pozorovali?“, „Jak to asi funguje?“ žáka dovede k vytvoření vlastních hypotéz na danou problematiku. Tedy učitel přebírá roli průvodce při řešení problému. Celý proces a postup badatelsky orientované výuky se pak podobá reálnému vědeckému výzkumu. Od formulace hypotéz, přes konstrukci metod řešení, přes získávání výsledků zjištěných navrženým šetřením, k diskuzi a závěrům (Papáček, 2010a).

1.2.1.1. Historie

Badatelsky orientovaná výuka (anglicky *inquiry based education*) se začala rozvíjet v 60. letech minulého století v USA, jako potřebná odezva na rozvoj informačních a komunikačních technologií a na celkový pokrok společnosti. Prvenství využití badatelské metody výuky je připisováno J.R. Suchmanovi, který popisoval tzv. sporné situace (např. mince plave na hladině vody). Tyto situace vzbuzují touhu „přijít věci na kloub“, která je základem bádání (Stuchlíková, 2010). V USA se tato výuková metoda stala natolik rozšířenou a efektivní, že v roce 1996 tam byly společností National Research Council vyhlášeny a publikovány národní standardy vzdělávání v přírodních vědách (National science education standards, 1996) založené především na tomto přístupu k výuce. Tyto standardy poskytují návrhy pro cíle, obsah učení a příklady aktivit, ve kterých se mohou studenti angažovat (Papáček, 2010b). V souvislosti s klesajícím zájmem o přírodovědné obory se badatelsky orientovaný směr objevil v 90. letech minulého století také v západní Evropě. Jako jedna ze změn v aplikaci pedagogických metod a postupů ve výuce prostřednictvím projektů (Rochard, a kol., 2007). Na území České republiky se s badatelsky orientovanou výukou poprvé setkáváme až na samém konci minulého století.

1.2.1.2. Struktura a uspořádání badatelsky orientované výuky

Forma a provedení výuky badatelskou metodou je pevně zacílená na výstupy žáka v podobě vyřčení hypotéz, zodpovězení otázek, návrh řešení, provedení řešení, prezentace výsledků a tvorba vlastních závěrů.

Podle míry samostatnosti žáka při realizaci BOV ji lze rozdělit do několika kategorií, které jsou vymezené poměrem zapojení učitele a žáka. Autoři publikace Průvodce pro učitele badatelsky orientovaným vyučováním a ji dělí do čtyř kategorií (Tab. 4).

Tabulka 4: Znázornění vzájemného poměru zapojení (aktivity) učitele a žáka při badatelsky orientovaném vyučování. Upraveno podle Průvodce pro učitele badatelsky orientovaným vyučováním vydané sdružením Badatelé.cz, 2013.

I. Otevřené bádání Žáci sami formulují problém, promýšlejí postup, provádějí šetření a formulují výsledky.	Klesá podíl samostatné činnosti žáků ↓	↑ Klesá podíl řízené činnosti žáka učitelem
II. Nasměřované bádání Učitel pokládá výzkumnou otázku, žáci navrhuji metodický postup a následně ho realizují,		
III. Strukturované bádání Otázku a možný postup učitel žákům sděluje, a ti na základě těchto informací postup krok po kroku opakuji, docházejí k vlastním výsledkům a formulují vysvětlení a závěry.		
IV. Potvrzující bádání Problém i postup jsou žákům poskytnuty, výsledky jsou známy. Žáci daným postupem výsledky pouze ověřují.		

1.2.1.3. Badatelsky orientovaná výuka v praxi

Badatelsky orientovaná výuka je nejenom příjemnou změnou v pedagogickém přístupu výuky přírodních věd, ale především se opírá o své výsledky v praxi na území USA. Tato metoda u studentů rozvíjí kreativitu, schopnost kritického myšlení, komunikaci, schopnost spolupracovat a počítačovou gramotnost (Chu a kol., 2008). Dále badatelsky orientovaná forma výuky u studentů ještě podporuje schopnost formulovat otázky a problémy, interpretovat text, schémata, grafy, tabulky, shromažďovat data a zpracovávat je do obecných závěrů, prezentovat výsledky a formulovat nové hypotézy. Ale hlavně naplňuje její hlavní cíl, a to, že s badatelsky orientovaným přístupem ve vyučovacím procesu dochází k lepšímu vnímání přírodovědných předmětů. Žáci sami hodnotí svůj postoj k přírodním vědám kladněji v porovnání se stavem, je-li aplikován jenom tradiční přístup ve vyučovacím procesu. Tento výsledek se shoduje se záměrem

uvedeným v amerických národních standardech vzdělávání a v přírodních vědách (NSES, 1996) či v doporučeních Rady EU (MŠMT, 2010), jež definují kompetence, k jejichž dosažení je badatelsky orientované vyučování užíváno.

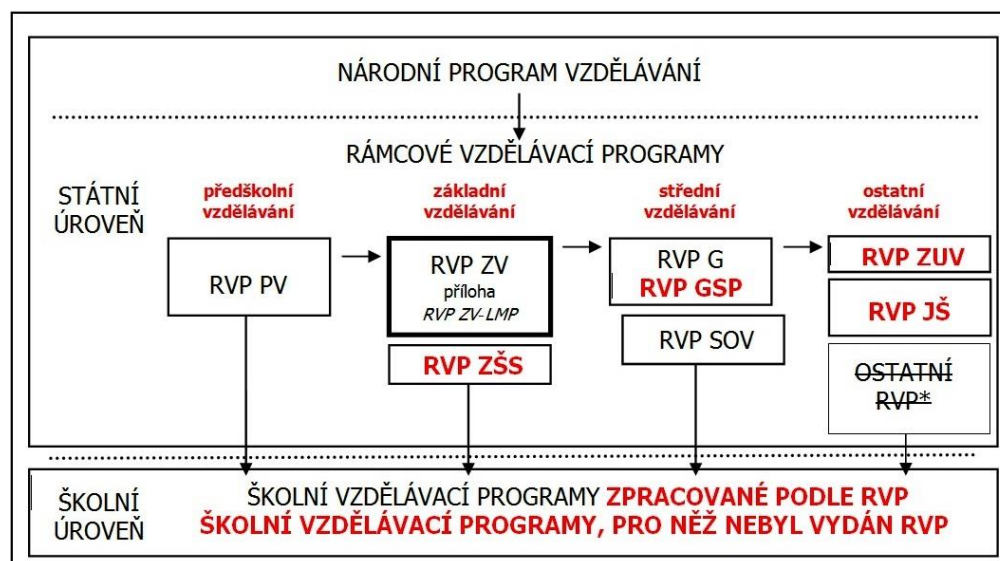
Navzdory těmto výsledkům z šetření Janouškové, Nováka, Maršáka (2008) vyplynulo, že didaktika biologie v České republice termín *badatelsky orientované vyučování* zatím plošněji nevyužívá. Výzkumy efektivity badatelsky orientovaného vyučování v českých podmínkách byly realizovány především v teoretické rovině, avšak výsledky konkrétních, experimentálně doložených výzkumů jsou zatím ojedinělé (Čížková, Radvanová, 2009).

1.2.2. Zařazení tématu do gymnaziálního vzdělávání

Tématem navrhovaných pokusů je působení změn teplot na vývoj a růst rostlin. Je třeba zabývat se i otázkou, je-li takovéto téma vyučováno v rámci školství v České republice, neboť právě k prospěchu českého školství má tento pokus sloužit. Výuka na školách v České republice se řídí kurikulárními dokumenty, které jsou vytvářeny na dvou úrovních – státní a školní. Státní úroveň v systému kurikulárních dokumentů představují Národní program vzdělávání (NPV) a rámcové vzdělávací programy (RVP). Národní program rozvoje vzdělávání v České republice formuje vládní strategii v oblasti vzdělávání. Strategie odráží celospolečenské zájmy a dává konkrétní podněty k práci škol (<http://www.msmt.cz/>). RVP vymezují závazné rámce vzdělávání pro jednotlivé etapy předškolního, základního a středního vzdělávání.

Školní úroveň představují školní vzdělávací programy (ŠVP), podle nichž se uskutečňuje vzdělávání na jednotlivých školách. Školní vzdělávací program vychází z rámcového vzdělávacího programu a vytváří si ho každá škola podle zásad stanovených v příslušném RVP (Obr. 15).

Obrázek 15: Kurikulární dokumenty v ČR. Zdroj: metodický portál RVP
<http://digifolio.rvp.cz/view/artefact.php?artefact=46483&view=6443>



Ministerstvo školství, mládeže a tělovýchovy ČR schválilo v roce 2007 Rámcový vzdělávací program pro gymnaziální vzdělávání (RVP G), který je určen pro čtyřletá gymnázia a vyšší stupeň víceletých gymnázií. Na základě analýzy RVP G se téma vliv teploty na fyziologické procesy rostlin zařazuje do vzdělávací oblasti člověk a příroda, obor biologie, konkrétně do učiva biologie rostlin. Vyučovaná témata této oblasti jsou rozpracovaná do očekávaných výstupů, které vytyčují znalosti a dovednosti, které by si měl žák osvojit (ty lze nalézt v RVP pod nadpisem Očekávané výstupy, viz obrázek č. 14) a učivo (podtémata učiva biologie rostlin, Obr. 15).

Obrázek 16: Výňatek z RVP G, Biologie rostlin.

BIOLOGIE ROSTLIN

Očekávané výstupy

žák

- ▶ popíše stavbu těl rostlin, stavbu a funkci rostlinných orgánů
- ▶ objasní princip životních cyklů a způsoby rozmnožování rostlin
- ▶ porovná společné a rozdílné vlastnosti stélkatých a cévnatých rostlin
- ▶ pozná a pojmenuje (s možným využitím různých informačních zdrojů) významné rostlinné druhy a uvede jejich ekologické nároky
- ▶ zhodnotí rostliny jako primární producenty biomasy a možnosti využití rostlin v různých odvětvích lidské činnosti
- ▶ posoudí vliv životních podmínek na stavbu a funkci rostlinného těla
- ▶ zhodnotí problematiku ohrožených rostlinných druhů a možnosti jejich ochrany

Učivo

- **morfologie a anatomie rostlin**
- **fyzilogie rostlin**
- **systém a evoluce rostlin**
- **rostliny a prostředí**

Dále je téma navrhovaných pokusů součástí průřezového tématu environmentální výchova. Průřezová témata vstupují do vzdělávání jako témata, která jsou v současnosti vnímána jako aktuální. Tato témata mají především ovlivňovat postoje, hodnotový systém a jednání žáků.

Téma je zastoupeno v učebnicích biologie určených pro gymnázia, jak dokazuje např. analýza středoškolských učebnic v práci Beránkové (2011), která se soustředí především na analýzu tematického celku fotosyntéza ve třech vybraných učebnicích využívaných pro gymnaziální výuku.

Jedná se o učebnice:

A: Biologie pro gymnázia (Jelínek a kol., 2006)

B: Biologie rostlin (Kincl a kol., 1996)

C: Botanika (Kubát a kol., 1998)

V práci Beránkové (2011) je téma vliv teploty na vývoj a růst rostlin analyzován v rámci kapitoly intenzita fotosyntézy se závěrem, že ve všech učebnicích jsou faktory ovlivňující intenzitu fotosyntézy rozděleny na vnější a vnitřní. Vnější faktory jsou pak v jednotlivých učebnicích zastoupeny dle tabulky 4.

Tabulka 5: Faktory ovlivňující intenzitu fotosyntézy (Text - (1) faktor se vyskytuje v textu, (0) faktor se nevyskytuje v textu, Graf - (1) závislost intenzity fotosyntézy na faktoru je znázorněna grafem, (0) závislost intenzity fotosyntézy na faktoru není znázorněna grafem, Popis – (1) závislost fotosyntézy na faktoru je v textu vysvětlena, (0) závislost není v textu vysvětlena). Zdroj: Beránková, 2011.

Faktor	Učebnice A			Učebnice B			Učebnice C		
	Text	Graf	Popis	Text	Graf	Popis	Text	Graf	Popis
světlo									
- intenzita	1	0	0	1	1	1	1	1	1
- kvalita	1	0	1	1	0		1	0	0
- délka osvětlení	1	0	1	0			0		
teplota	1	0	0	1	1	1	1	0	1
koncentrace CO ₂	1	0	1	1	1	1	1	1	1
voda	1	0	0	1	0		1	0	1
minerální látky	1	0	0	0			0		

Z tabulky č. 4 vyplývá, že téma je nejvíce obsaženo a vysvětleno v učebnici B - Biologie rostlin (Kincl a kol., 1996), kde je relativně podrobně popsáno i dokumentováno graficky.

2. Materiál a metody biologie

V této kapitole se věnuji výběru rostlinného materiálu a jeho přípravě pro každou experimentální variantu zvlášť. Následuje popis jednotlivých experimentálních systémů současně s kultivací jednotlivých rostlinných druhů. Následuje podkapitola zaměřená na zpracování rostlinného materiálu, měření parametrů za využití indikační kapaliny, senzoru CO₂ a dalších metod soustředěných na sledovaný parametr. Součástí této kapitoly je dotazníkové šetření, kde je popsáno, jak byl dotazník koncipován a jakou formou byl rozeslán respondentům. V závěru se věnuji popisu a vysvětlení statistických metod, které byly využity v průběhu vyhodnocení samotných pokusů a dotazníkového šetření.

2.1. Rostlinný materiál

Pokus 1

Pro pokus byly využity rostliny fazolu (*Phaseolus vulgaris* L.). Tyto dvouděložné bobovité rostliny jsou nenáročné a dobře klíčí ve vlhkých podmínkách a mají C3 typ fotosyntézy. S těmito rostlinami je jednoduchá manipulace, jejich semena jsou snadno dostupná na celém českém území a odezvy naklíčených semen fazolu na rozdílné teplotní podmínky jsou stabilní a dobře reprodukovatelné.

Pokus 2

Na tento pokus byly využity naklíčené obilky kukuřice seté (*Zea mays* L.). Tyto rostliny jsou zástupcem C4 rostlin a patří mezi hojně pěstované obilniny na území České republiky. Semena kukuřice seté jsou snadno dostupná, práce s nimi je nenáročná a dobře klíčí ve vlhkém a teplém prostředí.

2.2. Příprava rostlinného materiálu pro pokusy

Pokus 1

Nepoškozená a čistá semena fazolu byla vyskládána na tácy, jejichž dna byly pokryty dobře navlhčenou buničinou. Tácy byly překryty alobalem, v tomto prostředí nedochází k úniku vlhkosti, a proto nevzniká riziko vysušení buničiny a ztráty vlhkosti semen a semena nejsou vystavena slunečnímu záření. Po dobu sedmi dní byly tácy se semeny vystaveny pokojové teplotě okolo 22°C.

Obrázek 17: Sedmidenní naklíčená semena fazolu. Zdroj: autorské zpracování.



Pokus 2

Obilky kukuřice seté byly povrchově sterilizovány tím, že byly ponořeny do horké vody o teplotě přibližně 65°C a ponechány v této vodě přes noc. Následující den byla semena dostatečně propláchnuta pod tekoucí teplou vodou a vyskládána na vyšší misky, jejichž dno bylo pokryto vodou nasáklou buničinou. Misky byly překryty alobalem, aby se zamezilo přístupu slunečního záření a úniku vlhkosti a následnému

vysoušení buničiny. Obilky byly po celou dobu vystaveny pokojové teplotě okolo 22°C. Po deseti dnech byly rostliny připraveny k experimentům.

2.3. Experimentální systémy a kultivace

Pokusy, které jsou níže popsány, byly zaměřeny především na provedení a použití dostupného vybavení pro střední školy s přihlédnutím k současnému vybavení laboratoří na školách. Pokusy nepopisují nové poznatky, ale musí být ověřené, spolehlivé a demonstrativní s opakovaně prokazatelnými a správnými výsledky.

Pokus 1 – Vliv teploty na uvolňování CO₂ během klíčení fazolu při rozdílných teplotách

Hlavním účelem tohoto pokusu je porovnat uvolňování CO₂ v čase u klíčících rostlin fazolu, které jsou vystaveny různým teplotám. Použijeme na tento pokus větší množství obilí fazolu (cca 20 - 30), které jsme nechali po dobu sedmi dnů klíčit při pokojové teplotě. Klíčící obilky byly rozděleny na dvě skupiny a vloženy do dvou kádinek o objemu 250 ml. Do každé kádinky byla vložena zkumavka s 35 kapky roztoku CO₂ testeru. Celý systém byl překryt potravinovou fólií a tím hermeticky oddělen od okolního prostředí. Nakonec byly obě kádinky překryty alobalem a každá z nich vystavena po dobu tří hodin různé teplotě, a to pokojové teplotě, tj. teplota pohybující se přibližně kolem 21°C a teplotě v chladničce, tj. teplota v rozmezí od 5 °C – 7°C. Po uplynutí této doby byl zkontrolován a porovnán roztok v obou zkumavkách dle přiložené barevné stupnice. Při porovnání roztoku je nutné postupovat rychle, neboť při vystavení stejné koncentraci CO₂ ve vzduchu se zabarvení roztoku mění.

Pokus 2 – Vliv teploty na růst kukuřice seté rostoucí při rozdílných teplotách

Jedna sada aparatury obsahuje tři dvoulitrové PET láhve s uzávěrem a tři stejné závěsné lihové teploměry. Jedna PET láhev byla do jedné čtvrtiny horní výšky natřená bílou latexovou nebo malířskou barvou, druhá PET láhev byla ve stejné výšce natřená černou malířskou barvou a poslední láhev zůstala beze změny, která sloužila jako

kontrola. Zvolení bílé a černé barvy bylo z důvodu, že černá barva pohlcuje větší část spektra dopadajícího světla než barva bílá. Tato světelná energie je následně přeměna na energii tepelnou. Ve výsledku se tedy černá barva zahřeje na vyšší teplotu než při stejných podmínkách barva bílá. Tím by mělo dojít ke zvýšení teploty v láhvi natřené černě oproti láhvi natřené bíle. Teploměry byly opatřeny provázkem tak, aby je bylo možné přes hrdlo láhve zavěsit do vnitřního prostoru láhve a zároveň aby visely v takové výšce, aby bylo možné odečítat hodnoty ze stupnice a nekrylo se nám to s nátěrovou barvou láhví.

V tomto pokusu bylo použito 15 rostlin desetidenní kukuřice seté pro jednu sadu, vždy po pěti rostlinách jsme vložili do připravených PET láhví (viz kap. Materiál a metodika) se zavěšeným teploměrem. Dno PET láhví bylo zalito roztokem Kristalonu připraveného dle návodu. PET láhve byly uzavřeny a po dobu deseti dní jsme odečítaly dvakrát denně teploty, a to v 8.00 a v 12.00 hodin. Všechny tyto údaje se v průběhu pokusu zaznamenávaly do tabulky a naposledy se vypočítala průměrná teplota v jednotlivých láhvích v danou dobu. Láhve byly vystaveny po celou dobu pokusu dobrým světelným podmínkám u okna.

Obrázek 18:Aparatura s rostlinami kukuřice seté. Zdroj: autor Mgr. Bartáková.



Po deseti dnech odečítání teplot byly rostliny vyjmuty z láhví, řádně osušeny na filtračním papíru a připraveny k vážení a měření. Nejdříve se rostliny změřily, poté byly rostliny rozděleny na dvě části a to na prýt a kořen. V alobalových navážených miskách se vážily postupně jednotlivé části rostliny z příslušné barevné láhve v čerstvém stavu a hodnoty se zapisovaly do protokolu. Poté byly rostlinné části usušeny v mikrovlnné troubě v papírových obálkách dle příslušného návodu a poté opět zváženy v suché hmotnosti. Opět se hodnoty zapisovaly do protokolu a na konci se vypočetl průměr čerstvé a suché hmotnosti prýtu a kořene, celkové hmotnosti rostliny a její délky.

Tyto pokusy mi pomáhala uskutečnit Mgr. Drahomíra Bartáková, která připravila pokusný systém a zpracovala výsledky biomasy a měření teploty a zdokumentovala fotograficky. Získané výsledky jsem pak statisticky zpracovala a interpretovala samostatně.

2.4. Metody zpracování rostlinného materiálu

2.4.1. Nepřímé měření koncentrace CO₂ - Indikační kapalina Permanent Test CO₂

Pro porovnání uvolňování CO₂ při dýchání klíčovými semeny při různých teplotách byla využita indikační kapalina z balení Permanent Test CO₂. Test slouží především v akvaristice pro měření hodnoty CO₂ rozpuštěného ve vodním prostředí přes hraniční vrstvu vzduchu a reaguje na změny pH vody, způsobené nedostatkem nebo nadbytkem oxidu uhličitého. Volné vystavení kapaliny okolnímu prostředí se zvýšenou koncentrací CO₂ ve vzduchu zajišťuje, že již při obsahu 8 mg/l CO₂ obsaženého ve vzduchu se barva kapaliny mění. Čím vyšší koncentrace CO₂ ve vzduchu, tím se kapalina zabarvuje z původní tmavě modré barvy přes zelenou až do žluté. Součástí balení jsou dvě lahvičky indikačního roztoku o objemu 10ml, návod na použití pro akvaristy, aplikační nádobka pro měření koncentrace CO₂ v akváriích barevná stupnice, podle které je možné určit přibližný obsah CO₂ v roztoku. Cena tohoto balení se pohybuje kolem 400,- Kč a je k dostání převážně v internetových obchodech nabízející vybavení pro akvaristy. Výhodou této kapaliny je nejenom její dostupnost, ale i opakované použití

během pokusů. Neboť po dobu tří měsíců si uchovává svoje indikační schopnosti, po třech měsících začne vlivem slunečního záření blednout.

Obrázek 19: Balení Permanent Test CO₂ obsahuje dvě lahvičky indikačního roztoku o objemu 10ml, návod na použití pro akvaristy, přiložené barevné stupnice a aplikační nádobku pro měření CO₂ v akváriích. Zdroj: <http://www.premierpet.com.au>



Koncentrace CO₂ rozpuštěného ve vodě je nepřímá metoda měření aktuální koncentrace oxidu uhličitého ve vzduchu, při níž může být rozpustnost plynů ve vodě ovlivněna teplotou a tím její výsledek zkreslen. Rozpustnost CO₂ vzrůstá s poklesem teploty vody a se zvyšováním parciálního tlaku CO₂ (Příbyl a kol., 1992).

Tabulka 6: Rozpustnost plynů ve vodě při různé teplotě (g / 100 g vody) a atmosférickém tlaku. Zdroj: www.eridanus.cz

Plyn	N ₂	O ₂	CO ₂	SO ₂	NH ₃
0 °C	0,0029	0,0069	0,335	22,8	89,9
20 °C	0,0019	0,0043	0,169	10,6	51,8
50 °C	0,0012	0,0027	0,076	4,3	28,4
100 °C	0	0	0	1,8 (90°C)	7,4 (96°C)

Henryho zákon potom popisuje rozpouštění CO₂ ve vodě v závislosti na parciálním tlaku CO₂ v okolní atmosféře:

$$[\text{CO}_2 \text{ aq}] = KH \text{ PCO}_2$$

kde **KH** je Henryho konstanta. Parciální tlak (**PCO₂**) je podíl CO₂ na celkovém tlaku směsi plynů. Paradoxem je, že se snižující se teplotou se CO₂ snadněji rozpouští, avšak když teplota roste, rozpouštění se urychluje (Bögli, 1956). Při zvýšení teploty a snížení parciálního tlaku dochází k uvolňování CO₂ rozpuštěného ve vodě a k nárůstu jeho koncentrace ve vzduchu (Sládek, 2009).

2.4.2. Přímé měření koncentrace CO₂ - Senzor CO₂ z řady Vernier

Alternativou k nepřímému měření koncentrace CO₂ pomocí akvaristického testu je přímé měření koncentrace CO₂ např. senzorem od společnosti Vernier. Společnost Vernier je zaměřená na vývoj softwarů a přístrojů, jejichž využití je především zaměřeno na vzdělávání ve školním zařízení. V současné době společnost Vernier nabízí na českém trhu ze široké nabídky produktů, jako jsou například hlukoměr, pH senzor, luxmetr či spirometr. Všechny tyto produkty lze využít ve výuce matematiky, chemie, fyziky, biologie i v dalších odborných předmětech. Více o produktech a o společnosti Vernier lze najít na stránkách www.vernier.cz či www.vernier.com.

Senzor CO₂ sleduje změny koncentrace CO₂ v atmosféře. Tento senzor CO₂ měří hladinu oxidu uhličitého v rozmezí 0 až 10000 ppm (nízký rozsah nastavení) nebo 0 až 100 tisíc ppm (vysoký rozsah nastavení) na bázi absorpce infračerveného záření molekulami oxidu uhličitého. Snímač využívá malou žárovku, která vyzařuje infračervené záření (IR). Zdroj IR se nachází na jednom konci senzoru. Na druhém konci je infračervený senzor, který měří, kolik radiace dostane přes vzorek, aniž by byl absorbován do molekuly oxidu uhličitého. Detektor měří infračervené záření v úzkém pásmu se středem o vlnové délce 4260 nm. Čím větší je koncentrace absorbujícího plynu v odběrné trubici, tím méně záření prochází skrz infračervený detektor. Oxid uhličitý se pohybuje dovnitř a ven z trubice čidla difuzí skrz dvacet větracích otvorů v

trubce snímače (převzato a upraveno z www.vernier.cz). Data naměřená pomocí tohoto senzoru se zpracovávají přes USB rozhraní v programu Logger Lite 1.6.1., který je zdarma dostupný ke stažení na stránkách společnosti.

Obrázek 20: Senzor pro měření koncentrace CO ve vzduchu z řady Vernier. Zdroj: vernier.cz



2.4.3. Metodika vážení rostlinného materiálu pro zjištění biomasy rostlin

Pro zjištění biomasy rostlin, a to jak čerstvé hmotnosti, tak sušiny je důležité nejprve rostlinu řádně osušit a poté rozdělit na dvě části, a to na prýt a kořenovou část. Obilka nespadá ani do nadzemní ani kořenové části a byla vážena zvlášť. Jednotlivé části rostliny byly vloženy do předem připravených a navážených alobalových mističek. Pro vážení rostlinného materiálu byly využity laboratorní váhy s přesností na tisícinu gramu, kde každá rostlina či pouze její část byla vážena samostatně. Rostlinný materiál byl vážen nejprve v čerstvém stavu a potom jeho sušina po vysušení – viz následující podkapitola.

2.4.4. Metodika sušení rostlinného materiálu v mikrovlnné troubě

Sušení rostlinného materiálu bylo prováděno v papírových obálkách nebo sáčkích. Pro lepší únik vlhkosti během sušení bylo do obálek či papírových sáčků uděláno pomocí špendlíku několik malých dírek. Obálky či sáčky v mikrovlnné troubě musí být rozmístěny tak, aby se vzájemně nepřekrývaly. Mikrovlnná trouba byla nastavena na maximální výkon po dobu 30 sekund, poté se nechala 3 minuty otevřena, aby byla

odvětrána vlhkost. Postup byl opakován celkem osmkrát, aby celková doba sušení byla 4 minuty. (Upraveno podle: Koloběh uhlíku, TEREZA, 2010)

Obrázek 21: Vyrobená papírová obálka z tiskařského papíru formátu A4. Zdroj: autorské zpracování.



2.5. Statistické metody

V průběhu zkoumání v oblasti biologického výzkumu a kvantitativního výzkumu sociálních jevů (užitelnosti didaktické metody) byly užity statistické metody umožňující interpretaci sebraných dat. Cílem této kapitoly je popsat tyto metody z oblasti statistiky, na nichž stojí interpretace zjištěných a naměřených dat.

Data, která byla zpracovávána v rámci biologického šetření spadají do oblasti kvantitativních měřitelných dat. Kvantitativní znaky jsou znaky, které můžeme vyjádřit číslicí, měřitelné pak ty, u nichž lze provádět matematické operace, např. dělení, násobení a podobně. Povaha dat jako kvantifikovatelných a měřitelných umožňuje aplikaci metod statistického zkoumání. V rámci této práce to byly metody analýzy poloh, variability souboru a metody korelační analýzy – jednovýběrová analýza rozptylu (ANOVA test).

Při popisu naměřených hodnot v rámci pokusu i dotazníkového šetření bylo k popisu souboru užito standardních ukazatelů popisné statistiky, kterými jsou aritmetický

průměr a směrodatná odchylka. Průměr je ukazatelem střední hodnoty, zatímco směrodatná odchylka určuje koncentraci těchto hodnot kolem této střední hodnoty, tedy variabilitu souboru. Směrodatná odchylka je definována jako odmocnina z rozptylu, který se stanoví jako průměr čtverců odchylek jednotlivých hodnot znaku od jejich aritmetického průměru. (Hindls a kol., 2004).

Při pokusu č. 2 bylo nutné určit rozdíly v čerstvé hmotnosti a v hmotnosti sušiny rostlin ve třech různých prostředích. Aby bylo možno učinit relevantní závěr, bylo nutné provést více pozorování. Výsledkem pokusu byly tři soubory hodnot a to pozorování učiněná v kontrolní PET láhvi, v bílé láhvi a v černé láhvi. Cílem experimentu je určit, zda má faktor různého prostředí (různé PET láhve) vliv na naměřené hodnoty, tedy jaká je závislost mezi tím v jaké skupině se měřený znak vyskytuje a jeho hodnotou. Vhodnou metodou je porovnání průměrů, jelikož měření obsahovalo více jak dvě skupiny, byla užitá statistická metoda analýzy rozptylů (ANOVA test). Pro statistické zhodnocení pokusů byl vybrán program Excel. Modul „analýza dat“, kde nalezneme mimo jiné právě i funkci ANOVA, není součástí standardní instalace, jedná se o doplněk, který je nutno doinstalovat. Pro vyhodnocení rozdílů mezi jednotlivými variantami v pokusu byl použit Tukey-Kramer v případě normálního rozdělení dat nebo Kruskal-Walis test v případě jiného než normálního rozdělení dat.

3. Materiál a metody didaktiky

Podobně jako předchozí kapitola věnuje se i tato metodikám užitým k naplnění cílů diplomové práce. Nepojednává však již o metodách vztahujících se přímo k biologickému či technickému průběhu pokusu, ale k metodám směřujícím ke zkoumání jeho uplatnitelnosti v rámci vyučování na středních školách. Jde tedy o metody, které jsou druhou nezbytnou součástí předmětu této diplomové práce. Nejprve je popsána metoda dotazníkového šetření, které bylo užito v rámci výzkumu, dále postup tvorby výukových materiálů, které jsou nezbytným komplementem pokusu jako prostředku výuky a poslední část pak popisuje průběh orientačního ověření vytvořeného výukového materiálu mezi studenty.

3.1. Dotazníkové šetření

Dotazníkové šetření je frekventovanou kvantitativní metodou zvolenou k zjišťování sociologických jevů. Metoda byla použita tak, aby umožňovala zajistit vnitřní i vnější platnost výsledků (validitu). Vnitřní validita nám určuje, zda nám metoda pomáhá opravdu měřit to, co chceme měřit, vnější pak určuje, zda zjištěné poznatky můžeme extrapolovat a činit závěry pro širší populaci. (Jeřábek, 1992). Vnitřní validita šetření je úzce spjata s kvalitou a obsahem dotazníku, o kterém je pojednáno níže. Vnější validita je zajištěna reprezentativností souboru dotazovaných.

Dotazník vycházel z dotazníku vytvořeného sdružením TEREZA (příloha č. 7.2.), který byl rozšířen o několik dalších otázek, viz dále. A byl zaměřen na zjištění stavu současné praxe na školách a povědomí o badatelsky orientovaném vyučování. Dotazník je přílohou č. 7.1. této diplomové práce.

Samotným otázkám směřujícím ke zkoumané problematice předcházely otázky k osobě respondenta, které umožňují určit relevantnost informací obsažených v samotné předmětné části dotazníku. Tato část dotazníku poskytuje informace o vybraném souboru respondentů a pomáhá ověřit validitu výsledků (Jeřábek, 1992). Předmětná část dotazníku byla rozdělena na dvě části. První část zjišťovala informovanost a zkušenosti učitelů s badatelsky orientovanou výukou na středních školách, druhá část byla zaměřena na analýzu pilotní verze pracovních listů.

Dotazník pro učitele obsahoval celkem 17 otázek uzavřeného i otevřeného typu. Otázky uzavřeného typu jsou takové, které mají omezený výběr odpovědí, užívají se především pro získání přesných a jednoznačných odpovědí. Otázky otevřeného typu zjišťují chybějící informace, zjišťuje podrobnosti do hloubky. Dotazník byl školám zadáván v průběhu května roku 2014 a to pomocí aplikace Google Docs, která umožňuje snadné rozesílání dotazníku pomocí e-mailových adres vybraných respondentů a přehledné zobrazení výsledků dotazníku uživatelem. Dotazník byl rozeslán na 264 e-mailových adres. Gymnázia byla vybrána ze seznamu gymnázií vyvěšeného na internetovém odkazu www.atlasskolstvi.cz. Vyplněný dotazník je doručován automaticky zpět na e-mailovou adresu tazatele. Vyplnění dotazníků bylo dobrovolné, anonymní a bez časového omezení.

3.2. Struktura výukového materiálu

Výukový materiál je rozdělen na dvě části, kdy první část slouží jako podkladový materiál pro učitele (tj. metodické listy) a druhou část tvoří pracovní listy určené žákům. Pro vytvoření výukových materiálů byla zavedena struktura, která vychází z úloh, které jsou popsány v Průvodci pro učitele badatelsky orientované výuky publikované sdružením Tereza (Badatelé.cz, 2013) a to níže popsaným způsobem.

I. Struktura metodických listů pro učitele:

NÁZEV LABORATORNÍHO CVIČENÍ

- 1) Cílová skupina
- 2) Časová dotace
- 3) Období realizace
- 4) Příprava před lekcí
- 5) Popis jednotlivých úloh obsažených v pracovních listech, každá je dále strukturovaná do dílčích bodů
 - a. Funkce úlohy
 - b. Délka aktivity
 - c. Popis aktivity
 - d. Cíl aktivity
 - e. Doplnující

II. Struktura materiálů pro žáky:

NÁZEV LABORATORNÍHO CVIČENÍ

- 1) Motivační aktivita z praxe
- 2) Úloha řešená aplikací znalostí v oblasti fyziologie rostlin
- 3) Formulace hypotézy
- 4) Práce s textem a návrhy řešení
- 5) Plánování pokusu a jeho realizaci
- 6) Vyhodnocení výsledků pokusu a práce s grafem
- 7) Závěr pokusu

3.3. Orientační ověřování

Orientační ověření vytvořeného výukového materiálu proběhlo v květnu 2014 na pražském gymnáziu Nad Kavalírkou, Praha 5 v rámci hodin laboratorního cvičení předmětu biologie. Orientačního ověření se zúčastnily dvě třídy prvního ročníku čtyřletého gymnázia v celkovém počtu 54 žáků. Žáci byli rozděleni do čtyř laboratorních skupin A, B, C, D. Skupině A byla laboratorní práce zadávána pod mým vedením za přítomnosti učitele biologie. Skupiny B, C a D řešily danou úlohu pod vedením svého učitele biologie. Žákům bylo zadáno za použití metod a materiálů popsanych v této práci řešit úlohu, která je výše popsána jako pokus č.1, a následně vyplnit příslušné pracovní listy.

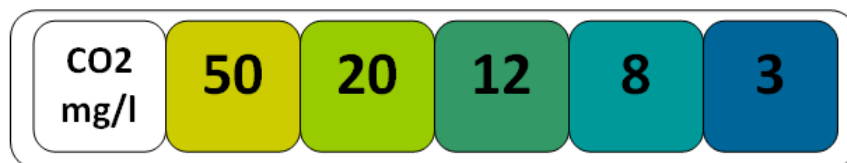
4. Výsledky

Tato kapitola je zaměřena na výsledky navržených pokusů, grafické znázornění výsledků a jejich statistické zpracování. První část kapitoly se věnuje výsledkům pokusu 1, v kterém byl měřen rozdíl v produkci CO_2 u klíčících rostlin fazolu vystavených rozdílné teplotě. Nejdříve jsou zpracovány výsledky naměřené pomocí indikační kapaliny, následuje prezentace výsledků naměřených koncentrací CO_2 senzorem z řady Vernier. V podkapitole 4.2 jsou uvedeny výsledky pokusu 2, při němž v systému různě natřených láhví byly kultivovány rostliny kukuřice. Sledovanými proměnnými při pokusu byla teplota v jednotlivých lahvích a hmotnost rostlin v čerstvém a suchém stavu. Obě úlohy byly podrobeny statistické analýze rozptylu, ANOVA. Podkapitola 4.3 zpracovává výsledky dotazníkového šetření a výsledky testování pracovních listů ve výuce.

4.1. Výsledky pokusu č. 1 - hodnoty naměřené pomocí indikační kapaliny

Tento pokus demonstruje jaký vliv má rozdílná teplota na proces klíčení u rostlin. Pokus ověřuje hypotézu, že během nízkých teplot je u vzorku vystaveného nízkým teplotám proces klíčení zpomalen. Snížení rychlosti procesu klíčení je ovlivněno sníženou rychlostí dýchání, která se projevuje snížením uvolňování CO_2 . Jelikož se testovaný materiál vyskytuje v uzavřeném systému, projeví se snížené uvolňování CO_2 poklesem koncentrace CO_2 ve vzduchu. Změna koncentrace CO_2 v systému se projeví rozdílným zabarvením indikačního roztoku. Přibližnou hodnotu koncentrace CO_2 v roztoku lze určit pomocí přiložené stupnice z balení Permanent Test CO_2 , která měří CO_2 v jednotkách mg/l.

Obrázek 22: stupnice indikační kapaliny Permanent Test CO₂. Zdroj: autorské zpracování



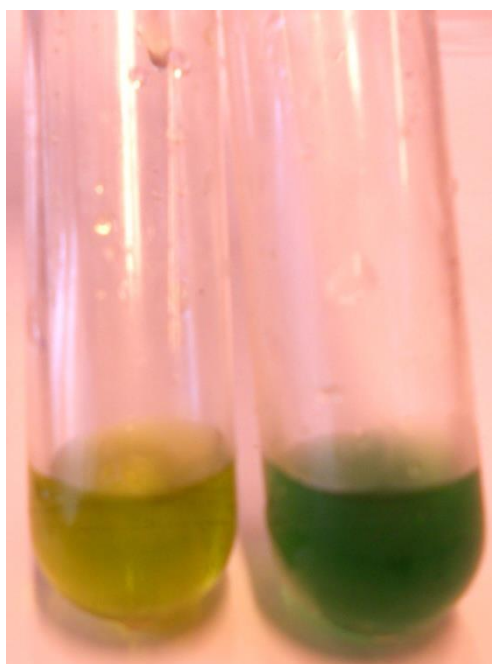
Doba expozice byla stanovena na tři hodiny, abychom dosáhli viditelnějšího výsledku. Pokus byl opakován celkem pětkrát, vždy s padesáti klíčovými semeny ve vzorku.

Do kádinky se semeny byla umístěna zkumavka s indikační kapalinou z balení Permanent Test CO₂ plus pH, která přes vrstvu vzduchu přijímá rozpuštěný oxid uhličitý. Indikační kapalina se zabarví podle koncentrace CO₂ v modrozelené škále (Obr. 22) ve spektru od modré (tj. nízká koncentrace CO₂) do zelenožluté barvy (tj. vysoká koncentrace CO₂). Koncentraci CO₂ v roztoku lze přímo odečíst na barevné stupnici. Indikační kapalina konečné hodnoty koncentrace CO₂ v roztoku začne ukazovat nejdříve po dvou hodinách.

Tabulka 7: Výsledek pokusu 1, 1.opakování.

<u>Doba vystavení semen rozdílným teplotám po dobu tří hodin</u>		
Datum zpracování pokusu: 26. 11. 2013		
	1. vzorek	2. vzorek
Teplota	22 °C	5°C
Přibližná barva stupnice indikační kapaliny a obsah CO2 (mg/l)	50	12

Obrázek 23: Výsledek pokusu 1, 1. opakování. Zdroj: autorské zpracování.



Tabulka 8: Výsledek pokusu 1, 2. opakování.

<u>Doba vystavení semen rozdílným teplotám po dobu tří hodin</u>		
Datum zpracování pokusu: 4. 12. 2013		
	1. vzorek	2. vzorek
Teplota	22 °C	5°C
Přibližná barva stupnice indikační kapaliny a obsah CO₂ (mg/l)	<div data-bbox="812 546 909 645" data-label="Text"> <div>50</div> </div>	<div data-bbox="1149 546 1246 645" data-label="Text"> <div>12</div> </div>

Obrázek 24: Výsledek pokusu 1, 2. opakování. Zdroj: autorské zpracování.



Tabulka 9: Výsledek pokusu 1, 3. opakování.

<u>Doba vystavení semen rozdílným teplotám po dobu tří a půl hodin</u>		
Datum zpracování pokusu: 9. 12. 2013		
	1. vzorek	2. vzorek
Teplota	22 °C	5°C
Přibližná barva stupnice indikační kapaliny a obsah CO₂ (mg/l)	50	12

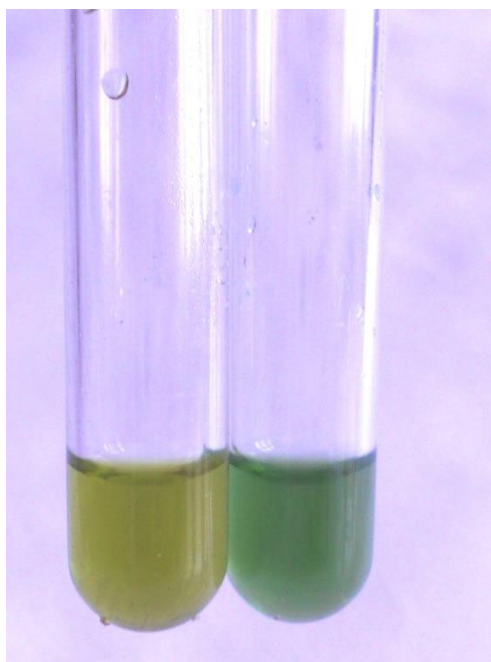
Obrázek 25: Výsledek pokusu 1, 3. opakování. Zdroj: autorské zpracování.



Tabulka 10: Výsledek pokusu 1, 4. opakování.

<u>Doba vystavení semen rozdílným teplotám po dobu tří hodin</u>		
Datum zpracování pokusu: 10. 12. 2013		
	1. vzorek	2. vzorek
Teplota	22 °C	5°C
Přibližná barva stupnice indikační kapaliny a obsah CO₂ (mg/l)	50	12

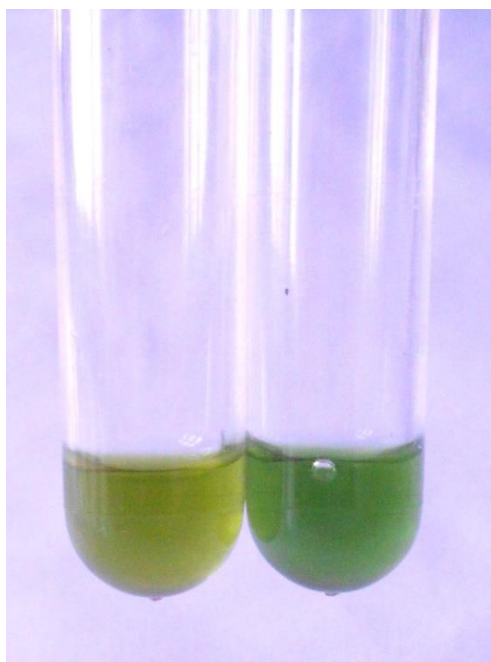
Obrázek 26: Výsledek pokusu 1, 4. opakování. Zdroj: autorské zpracování.



Tabulka 11: Výsledek pokusu 1, 5. opakování.

<u>Doba vystavení semen rozdílným teplotám po dobu tří hodin</u>		
Datum zpracování pokusu: 17. 12. 2013		
	1. vzorek	2. vzorek
Teplota	22 °C	5°C
Přibližná barva stupnice indikační kapaliny a obsah CO2 (mg/l)	50	12

Obrázek 27: Výsledek pokusu 1, 5. opakování. Zdroj: autorské zpracování.



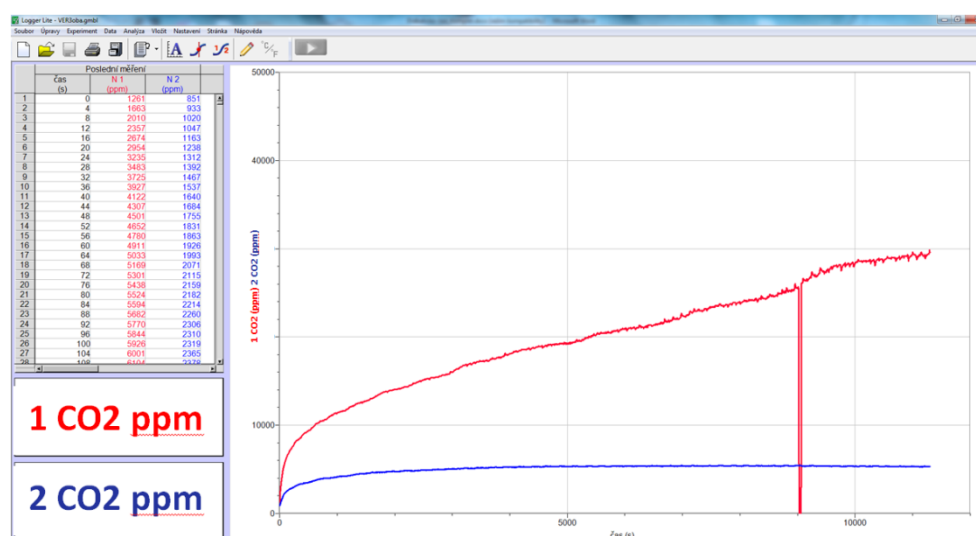
Pokus byl při měření pomocí indikační kapaliny Permanent Test CO₂ byl proveden v pěti opakováních, pokaždé vždy s rostlinou fazolu (Tab. 7-11, Obr. 23-27). Výsledky prokázaly, že proces klíčení fazolu vystaveného chladnějším teplotám (zde o 17°C) je významně zpomalen, dochází k snížení intenzity dýchání a tím i uvolňování CO₂.

Pokus demonstroval, jak teplota ovlivňuje průběh klíčení rostlin s opakovaně jednoznačnými a zcela koherentními výsledky. Pokus lze tedy označit jako spolehlivý a snadno proveditelný. Na základě výsledků pokusu bylo možné přikročit k přípravě výukových materiálů, které obsahují metodické listy pro učitele a pracovní listy pro studenty středních škol (materiály tvoří přílohu této práce).

4.1.1. Výsledky pokusu 1 – hodnoty naměřené pomocí CO₂ senzoru z řady Vernier

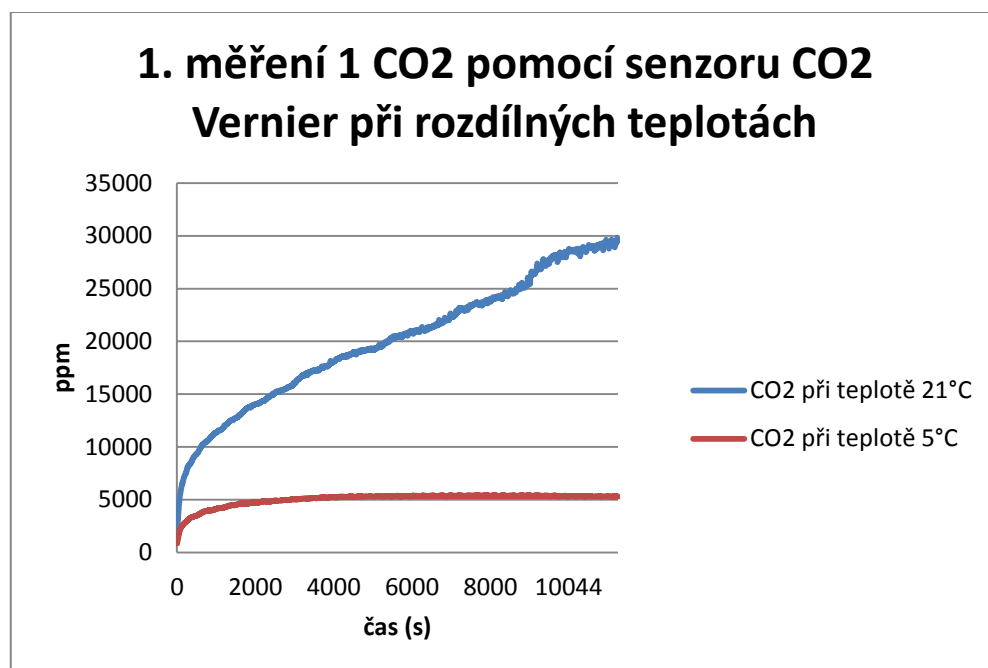
Pomocí senzoru CO₂ z řady Vernier proběhlo kontrolní měření koncentrace CO₂ v průběhu vystavení rozdílným teplotám. Měření probíhalo ve dvou litrových nádobách, kam byl vložen senzor CO₂ společně s naklíčenými semeny fazolu. Celý systém byl utěsněn. Jedna láhev byla zanechána při pokojové teplotě přibližně 21 °C, druhá láhev byla vložena do chladničky, kde se teploty pohybovaly kolem 6 °C. S využitím programu Logger Lite 1.6.1. se každé čtyři sekundy měřila koncentrace CO₂ v jednotlivých nádobách po dobu 180 minut.

Obrázek 28: Výsledné měření koncentrace CO₂ klíčících semen při teplotě 21°C znázorněna červenou barvou. Výsledné měření koncentrace CO₂ klíčících semen při teplotě 6°C znázorněna modrou barvou. Grafické zpracování programu Logger Lite 1.6.1.

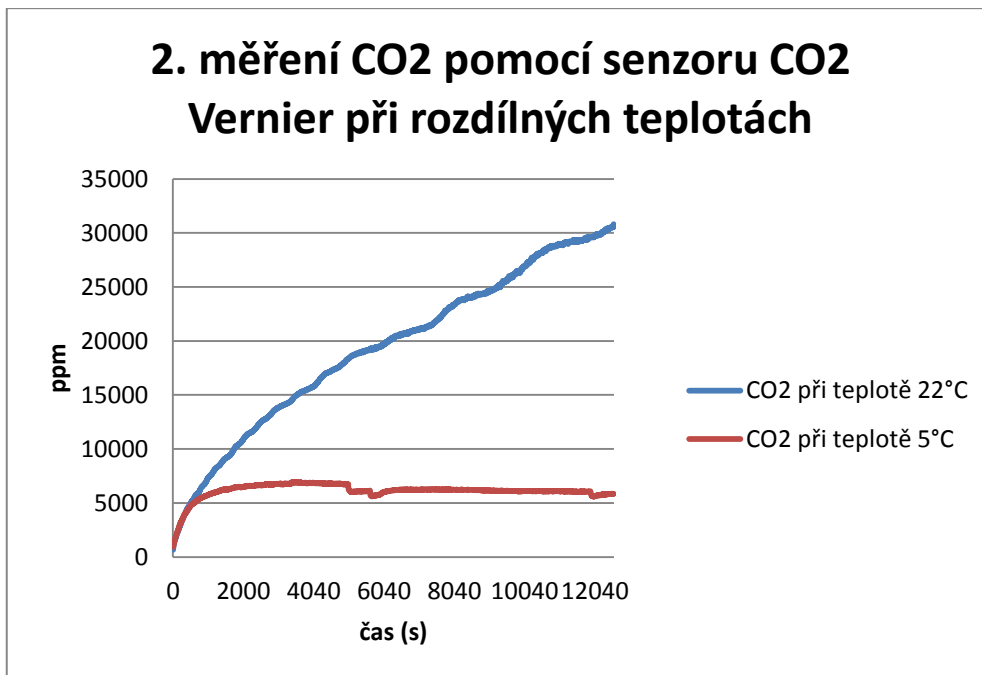


Výsledky ze všech měření pomocí zařízení senzoru CO₂ od společnosti Vernier ukázaly, že uvolněné CO₂ klíčících fazolí v láhvi ponechané při pokojové teplotě je větší než je tomu při 5°C. V průběhu tohoto měření jeden senzor naměřil nulové hodnoty CO₂, což je ve všech grafech znázorněno rychlým propadem k hlavní vodorovné ose grafu a okamžitým návratem do původních hodnot, důvod této změny v měření není znám, pravděpodobně se jedná o momentální přístrojovou chybu. V následujících grafech 1 až 3 jsou tato chybová měření vypuštěny. Hodnoty CO₂ měřené při teplotě 5°C jsou za určitý čas téměř neměnné, právě jako důsledek vlivu nízké teploty na klíčení semen. Prostředí modře znázorněného vzorku proces utlumí, poněvadž teploty v chladničce se nacházejí pod minimální teplotou nezbytnou pro klíčení fazolu.

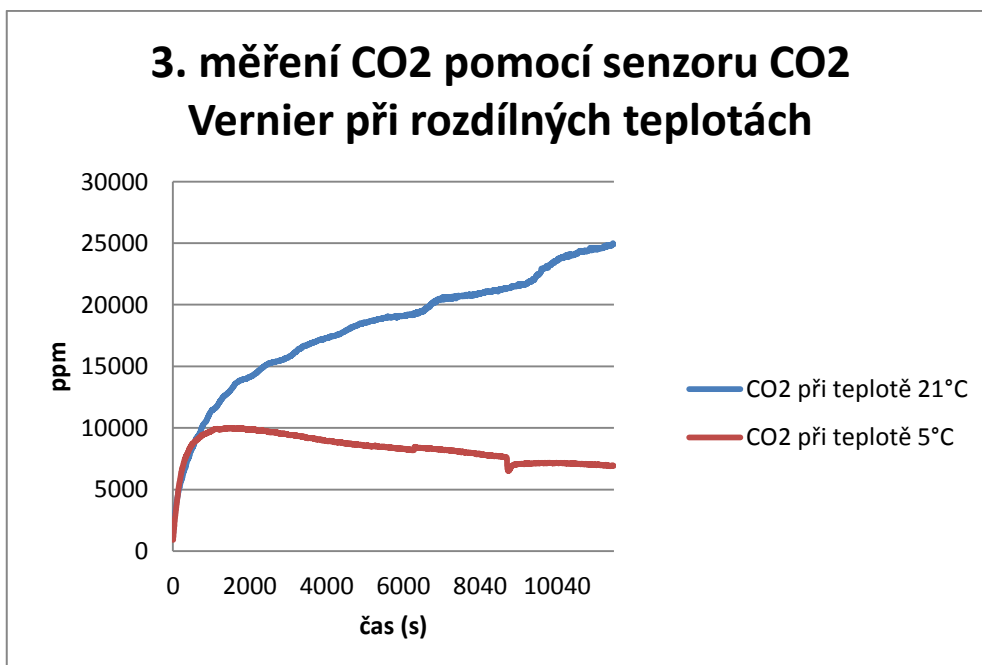
Graf 1: Výsledný graf prvního měření uvolněného CO₂ během klíčení fazolu pomocí senzoru CO₂ z řady Vernier. Měření probíhalo při teplotě 21°C a 5°C.



Graf 2: Výsledný graf druhého měření uvolněného CO₂ během klíčení fazolu pomocí senzoru CO₂ z řady Vernier. Měření probíhalo při teplotě 21°C a 5°C.



Graf 3: Výsledný graf třetího měření uvolněného CO₂ během klíčení fazolu pomocí senzoru CO₂ z řady Vernier. Měření probíhalo při teplotě 21°C a 5°C.



4.1.2. Výsledky pokusu č. 1 – Statistické zhodnocení

Výsledky získané ze všech opakování pokusu 1 byly zhodnoceny z hlediska reprodukovatelnosti. Dle testu ANOVA byla hodnocena statistická významnost souboru dat ze všech opakování pokusu. Výsledná P hodnota tohoto testu určila, že je možné zamítnout hypotézu, že oba zkoumané modely (množství uvolněného CO₂ za stejný čas v různých teplotách) jsou rovnocenné. Lze tedy vyvodit, že pokus je dobře navržený, vždy s jednotným závěrem. Na základě těchto statistických výsledků se přistoupilo k tvorbě metodických a pracovních materiálů.

4.2. Výsledky pokusu č. 2 – Vliv teploty na nárůst biomasy

Cílem pokusu bylo demonstrovat, jak i zdánlivě minimální (tj. stupňové) rozdíly teplot mají vliv na produkci biomasy rostlin, tedy rychlost fotosyntézy, aniž by byly vystaveny jiným abiotickým faktorům. Jinými slovy určit, jaký je vliv teploty na proces fotosyntézy a růstu rostlin. S využitím obecně dobře dostupného vybavení bylo usilováno o vytvoření podmínek v uzavřeném systému pro vývoj rostlin, v kterém jedinou proměnou veličinou je teplota. Ostatní abiotické faktory pro odlišně natřené láhve zůstávají téměř stejné, tedy světelné podmínky, koncentrace CO₂ a množství vody s minerály. Nízké teplotní rozdíly korespondují s prognózami globálního oteplování, tedy teplotními změnami, které se v budoucnu předpokládají. Pomocí vážení hmotnosti kořene, prýtu i celé rostliny v čerstvém i suchém stavu lze určit, jaký vliv mají právě tyto teplotní rozdíly na růst rostliny v konkrétním čase.

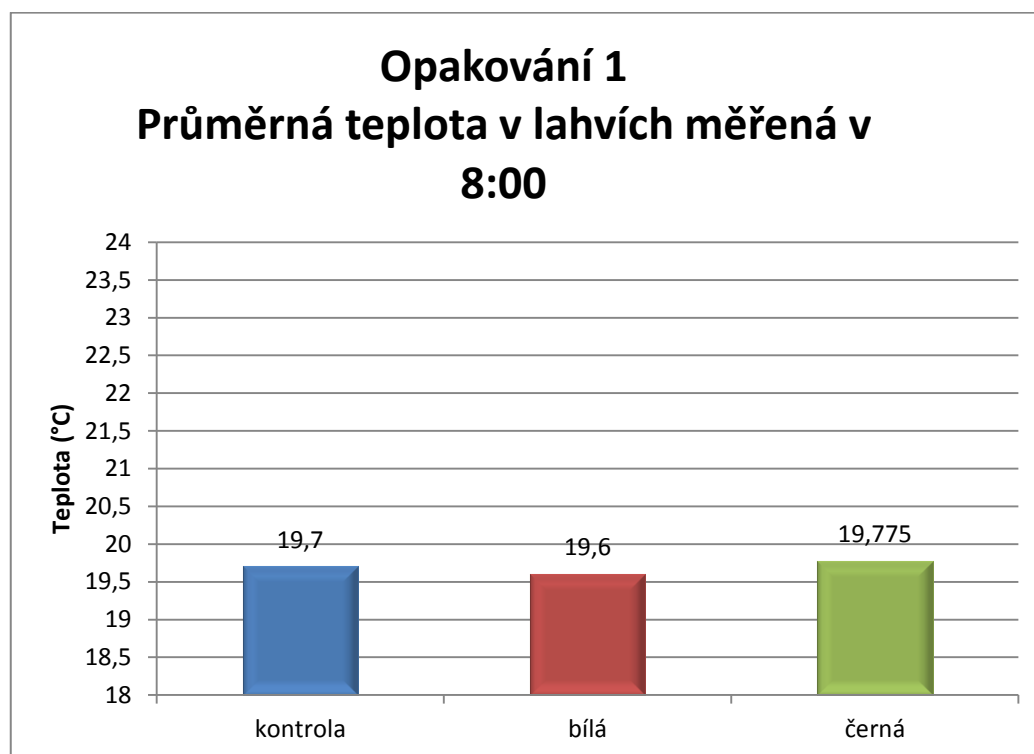
Rozdíly teplot v láhvích byly v průběhu pokusu dvakrát denně zaznamenávány do protokolu a to vždy ve stejnou dobu, v 8.00 hodin ráno a v 12.00 hodin odpoledne. Zaznamenané hodnoty teploty byly vyneseny do grafu průměrných hodnot teploty v jednotlivých lahvích dle času měření.

Měřena byla teplota vždy ve třech lahvích, a to v lahvi kontrolní bezbarvé, v lahvi bílé a v lahvi černě natřené. Následné grafy zobrazují průměrnou hmotnost po uplynuté době kultivace dle jednotlivých rostlinek umístěných v jednotlivých lahvích. Grafy jsou

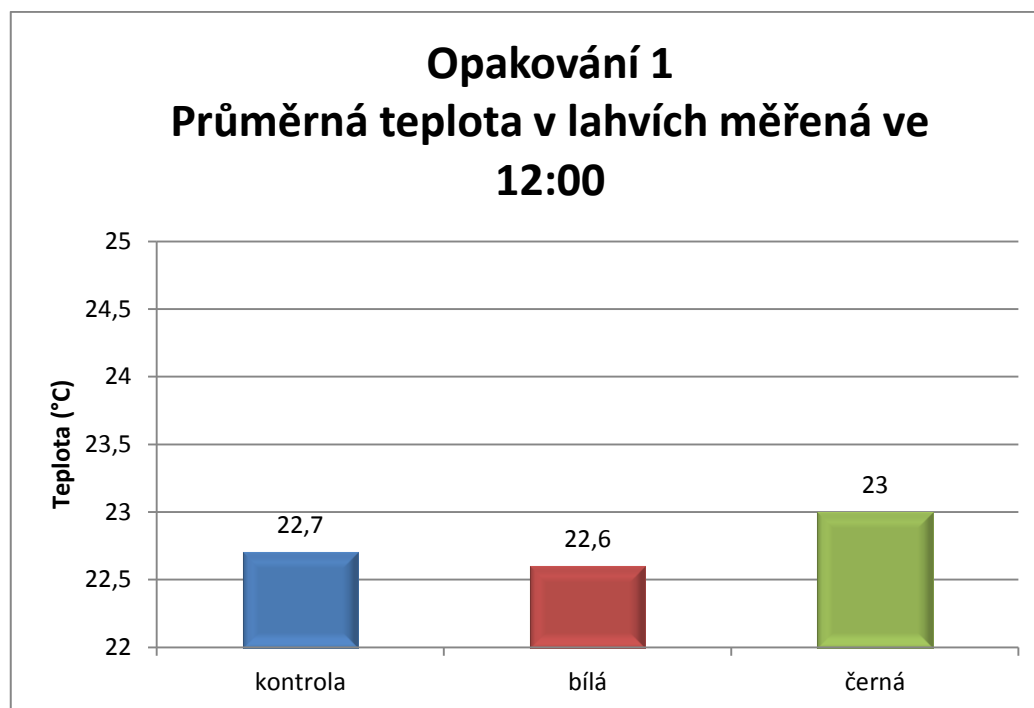
členěny dle toho, zda byla hmotnost měřena v suchém nebo čerstvém stavu a dále dle toho zda je měřena hmotnost prýtu, kořene či celé rostliny. První dva grafy v sekci opakování znázorňují průměrnou teplotu naměřenou v jednotlivých lahvích. Grafy průměrných hodnot jsou opatřeny úsečkou vyjadřující směrodatnou odchylku, která nám dává informaci o variabilitě souboru hodnotu dat.

Při prvním opakování se jedná o kukuřici pěstovanou po dobu 10 dní v zavřených dvoulitrových plastových lahvích. V každé láhvi je umístěno vždy po šesti rostlinkách. Odečítáním teplot v průběhu kultivace se ukázalo, že v černé láhvi bylo v poledne průměrně o 0,4 °C více než v láhvi bílé, což činí o desetinu méně než rozdíl průměrných teplot v černé a kontrolní láhvi (Graf 5). Při měření v 8:00 ráno byla naměřena nejvyšší teplota v černé láhvi, teploty se však lišily pouze v rozmezí desetiny stupňů celsia, jak ukazuje graf 4.

Graf 4: Sada 1. Průměrné hodnoty teplot naměřené v jednotlivých lahvích v 8.00 hodin.

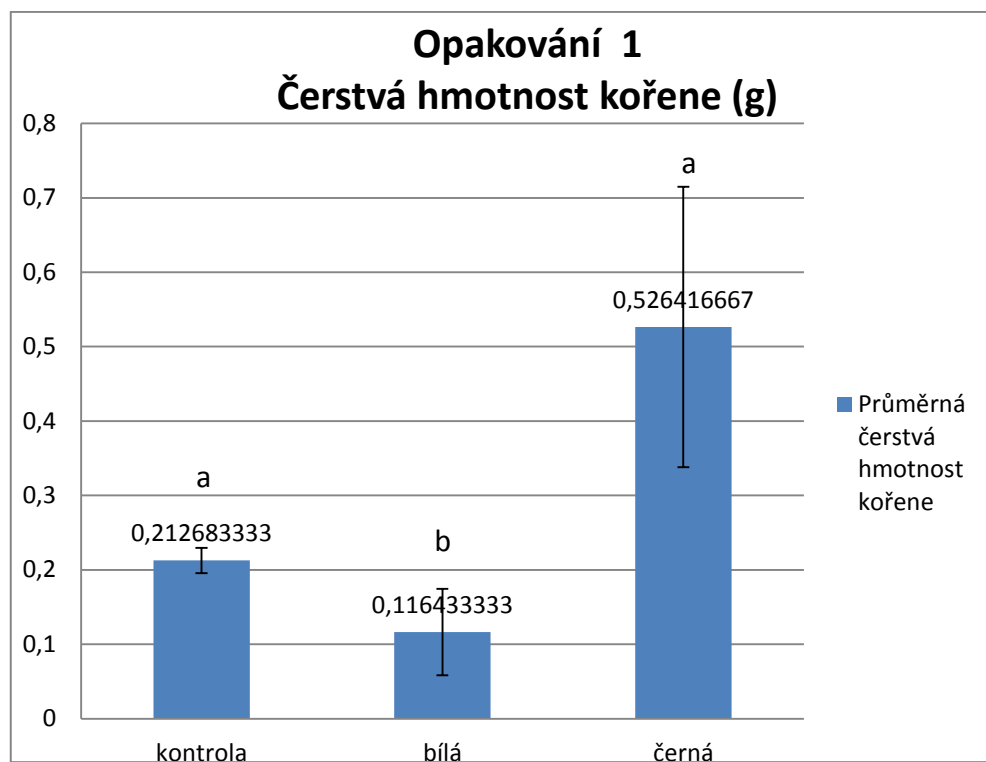


Graf 5: Sada 1. Průměrné hodnoty teplot naměřené v jednotlivých láhvích ve 12.00 hodin.

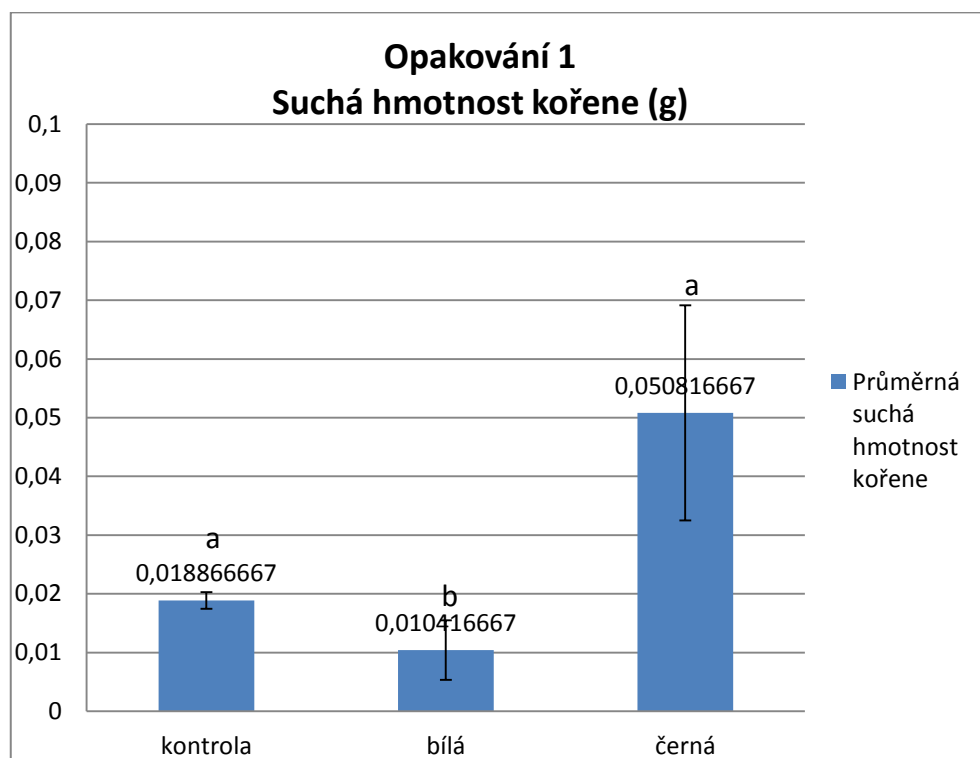


Výsledky prvního opakování ukázaly, že průměrná celková hmotnost rostlin v suchém i čerstvém stavu kultivované v láhvi natřené černou barvou je dvakrát vyšší než celková hmotnost rostlin pěstované v kontrolní láhvi a téměř třetinová s porovnáním hmotnosti rostlin v bílé láhvi (Graf 6 - 11). V souladu s těmito výsledky je i porovnání jednotlivých hmotností částí rostlin, tj. prýtu či kořene, v suchém i čerstvém stavu.

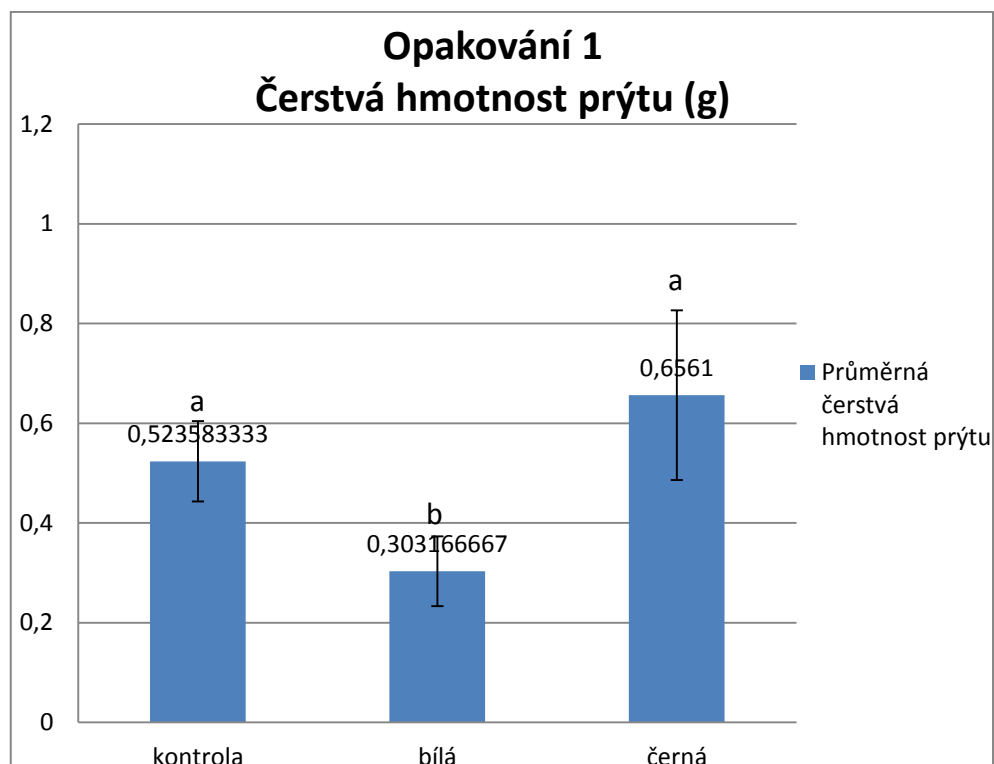
Graf 6: Výsledný graf průměrné hmotnosti kořene v čerstvém stavu z jednotlivých láhví první sady.



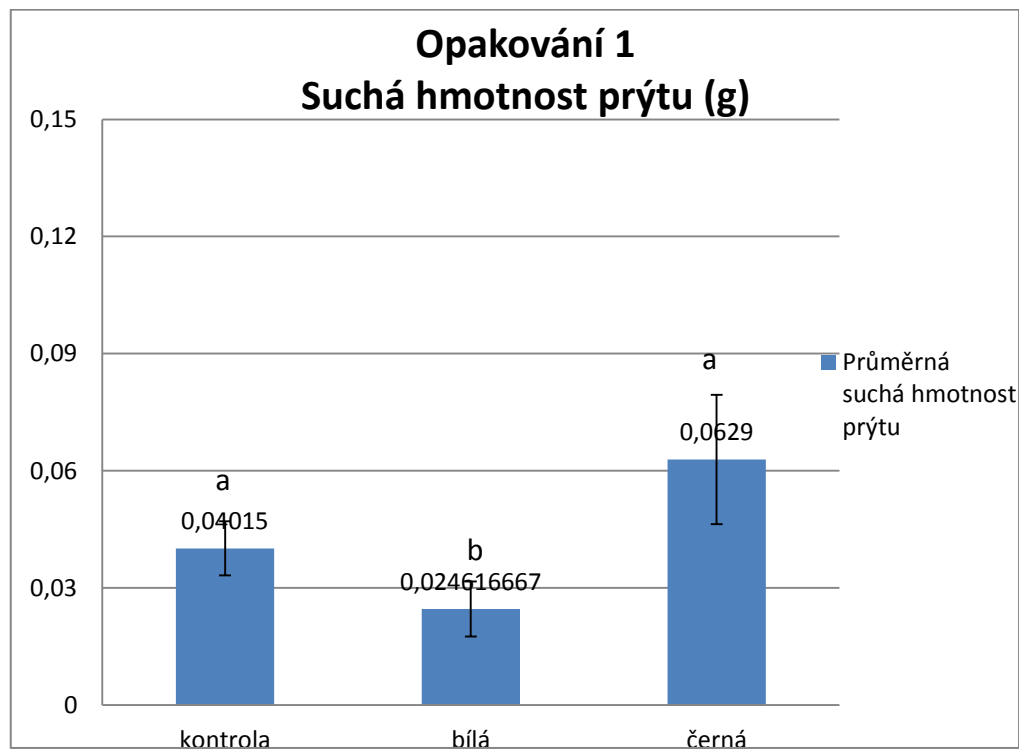
Graf 7: Výsledný graf průměrné suché hmotnosti kořene z jednotlivých láhví první sady.



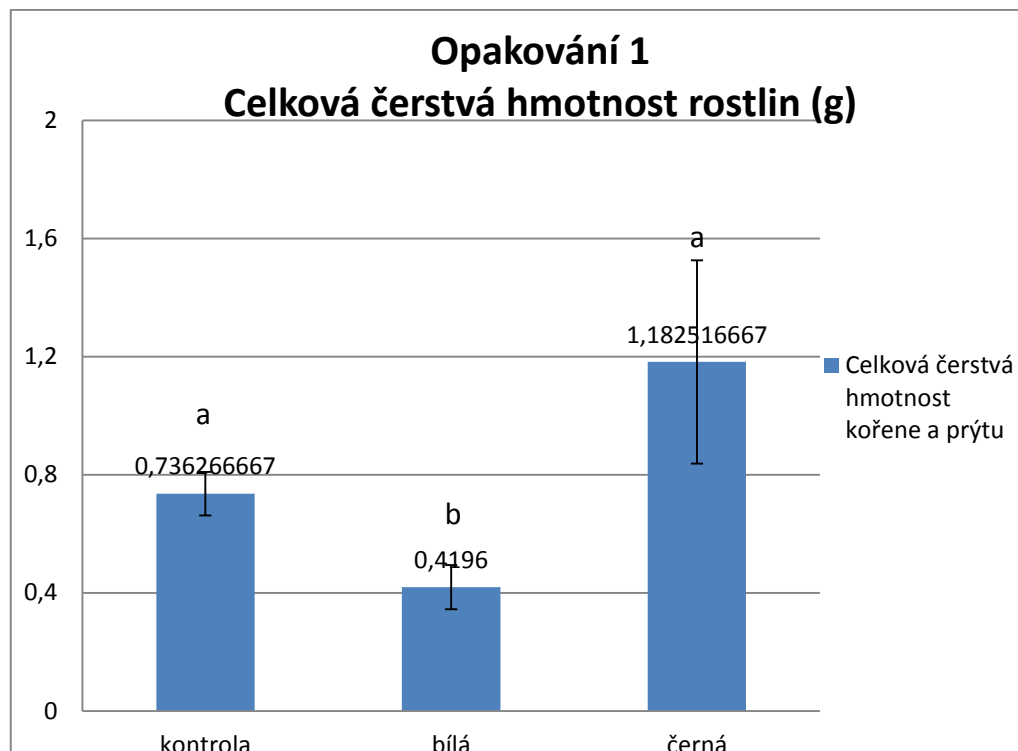
Graf 8: Výsledný graf průměrné čerstvé hmotnosti prýtu z jednotlivých láhví první sady.



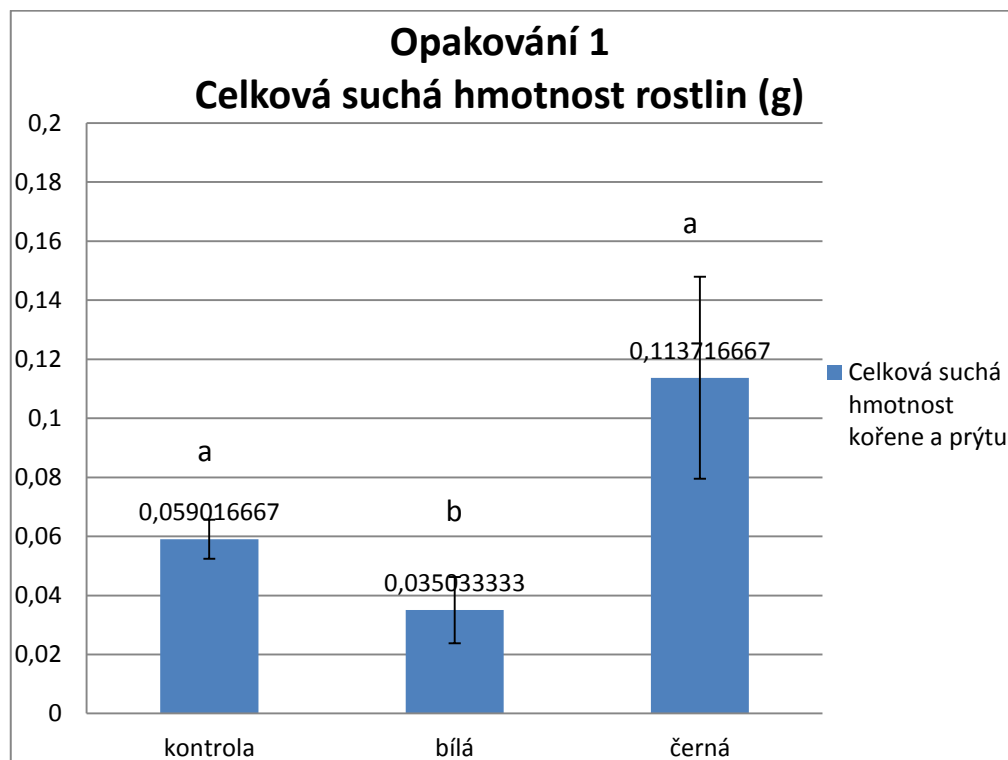
Graf 9: Výsledný graf průměrné hmotnosti prýtu v suchém stavu z jednotlivých láhví první sady.



Graf 10: Výsledný graf průměrné celkové hmotnosti rostlin v čerstvém stavu z jednotlivých láhví první sady.

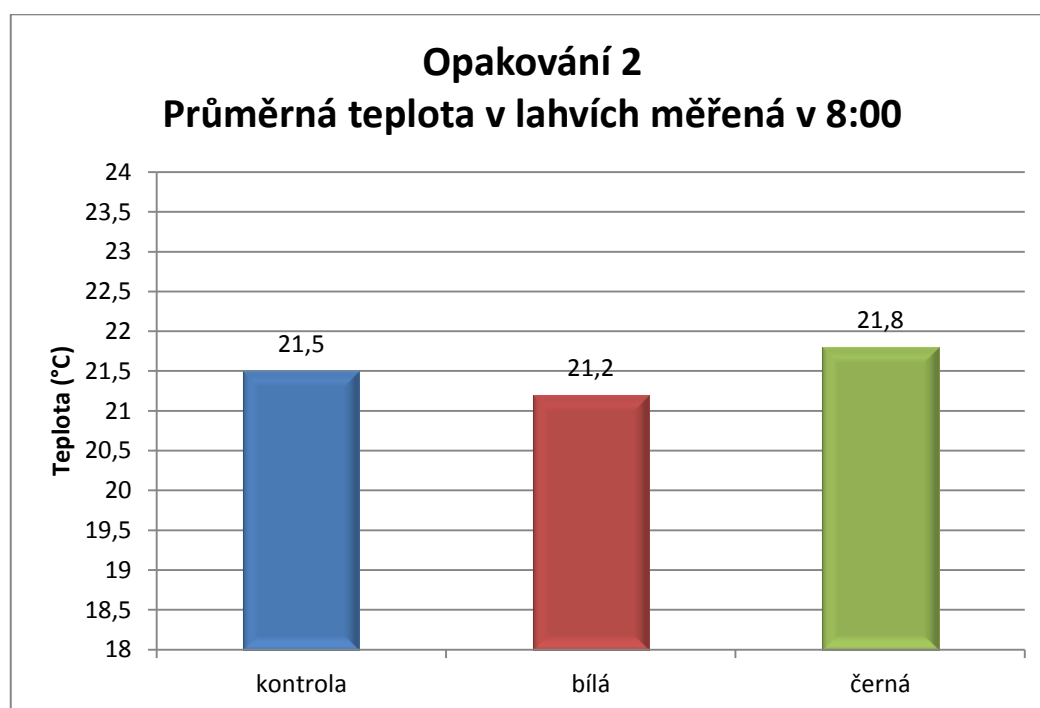


Graf 11: Výsledný graf průměrné celkové hmotnosti rostlin v suchém stavu z jednotlivých láhví první sady.

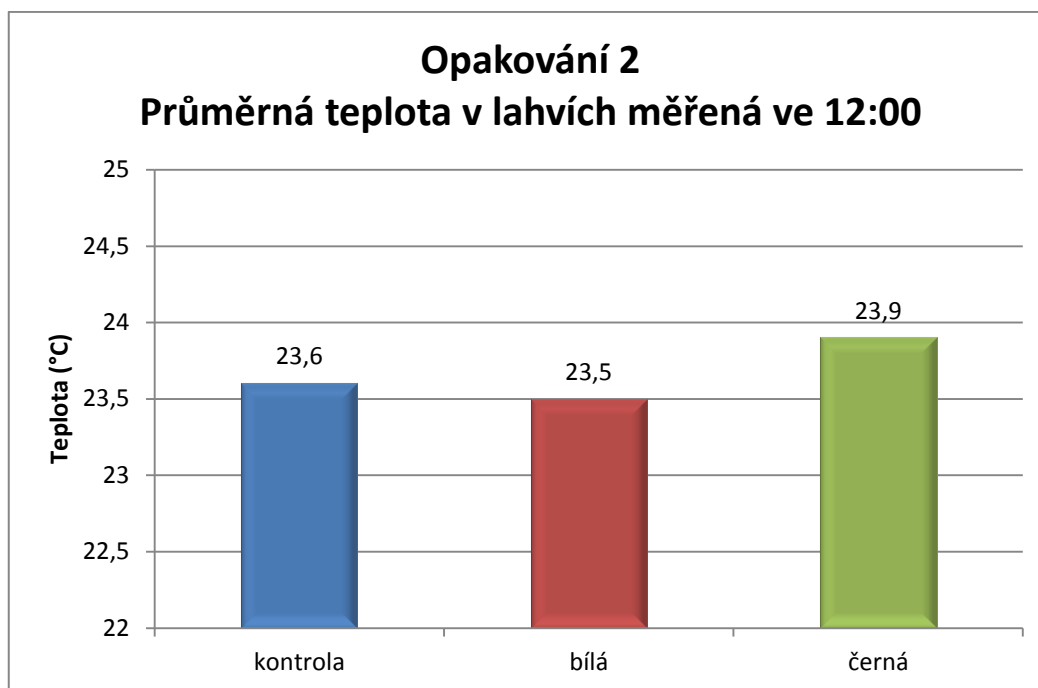


Při druhém opakování byla kukuřice kultivována po dobu 11 dní opět ve dvoulitrových láhvích. Vždy pět rostlinek kukuřice na jednu láhev. Při obou měřeních v různé časy grafy 12 a 13 ukázaly, že největší průměrné teploty byly zaznamenány v láhvi natřené černou barvou. Největší rozdíl byl zaznamenán v osm hodin ráno, kdy teploty v bílé a černé láhvi tvořily rozdíl 0,6 °C.

Graf 12: Sada 2. Průměrné hodnoty teplot naměřené v jednotlivých láhvích v 8.00 hodin.

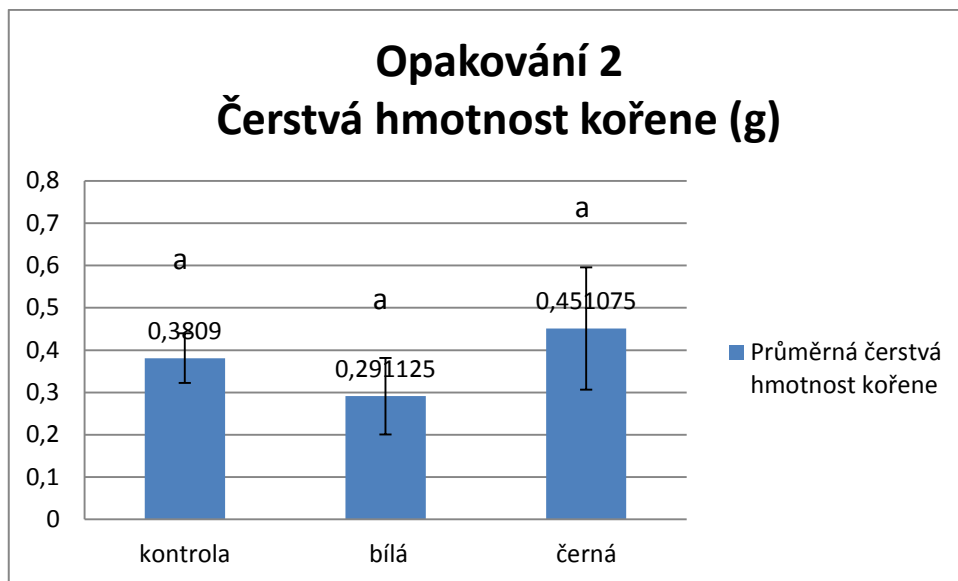


Graf 13: Sada 2. Průměrné hodnoty teplot naměřené v jednotlivých láhvích ve 12.00 hodin.

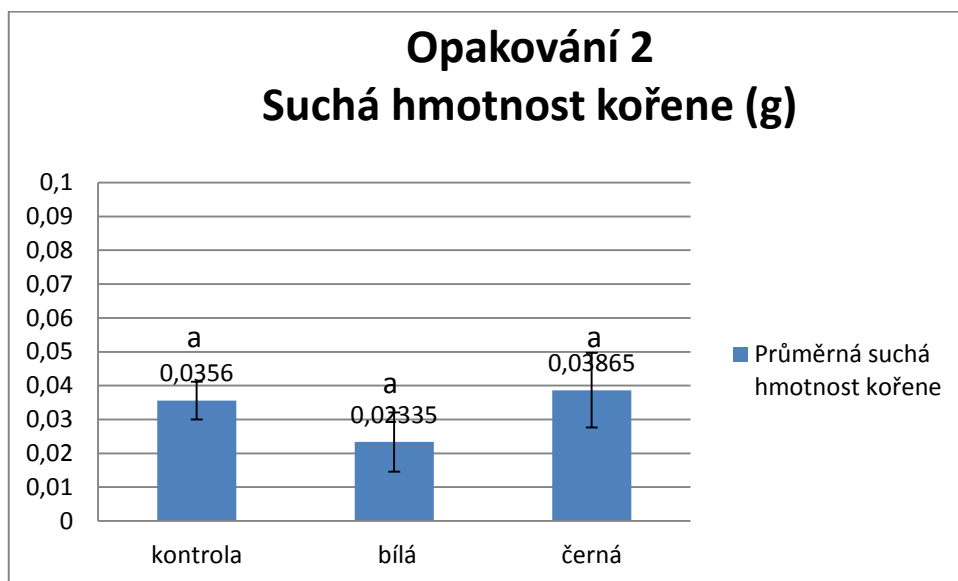


Při druhém opakování nebyly rozdíly v průměrné hmotnosti jednotlivých částí rostlin v suchém i čerstvém stavu tak značné (Graf 14 -19), jako tomu bylo u prvního opakování. Nicméně se u většiny měření zachovalo stejné pořadí, jako tomu bylo u opakování prvního. Rostliny kultivované v černé láhvi stabilně vykazují největší průměrné hmotnosti, hned za ně se s malým rozdílem řadí rostliny pěstované v kontrolní láhvi a nejnižší průměrnou hmotnost vykazují rostliny z bílé láhve. Jinak je tomu v grafu 17, kdy hmotnost prýtu v suchém stavu v kontrolní láhvi nepatrně převýšila hmotnost prýtu v suchém stavu v láhvi černé.

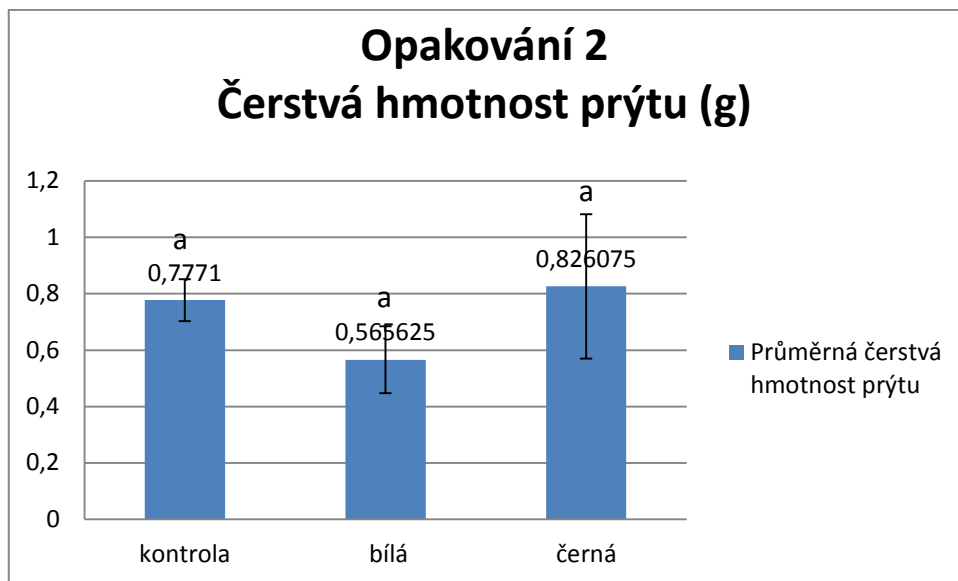
Graf 14: Výsledný graf průměrné hmotnosti kořene v čerstvém stavu z jednotlivých láhví druhé sady.



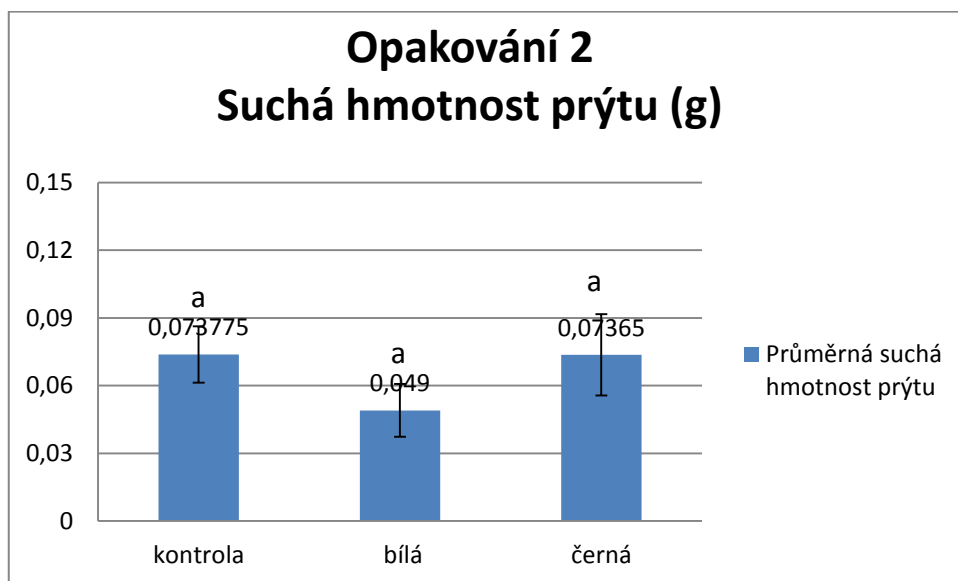
Graf 15: Výsledný graf průměrné suché hmotnosti kořene z jednotlivých láhví druhé sady.



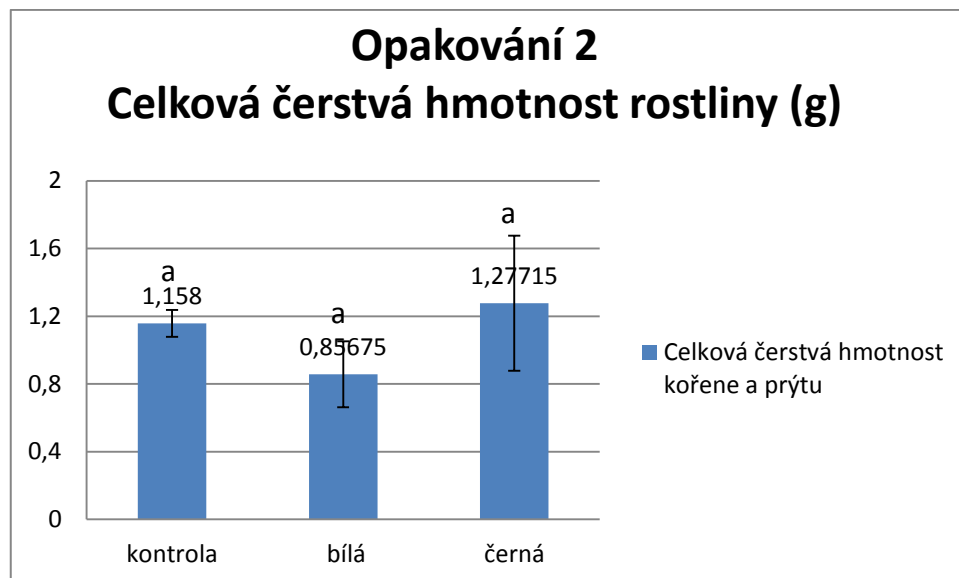
Graf 16: Výsledný graf průměrné hmotnosti prýtu v čerstvém stavu z jednotlivých láhví druhé sady.



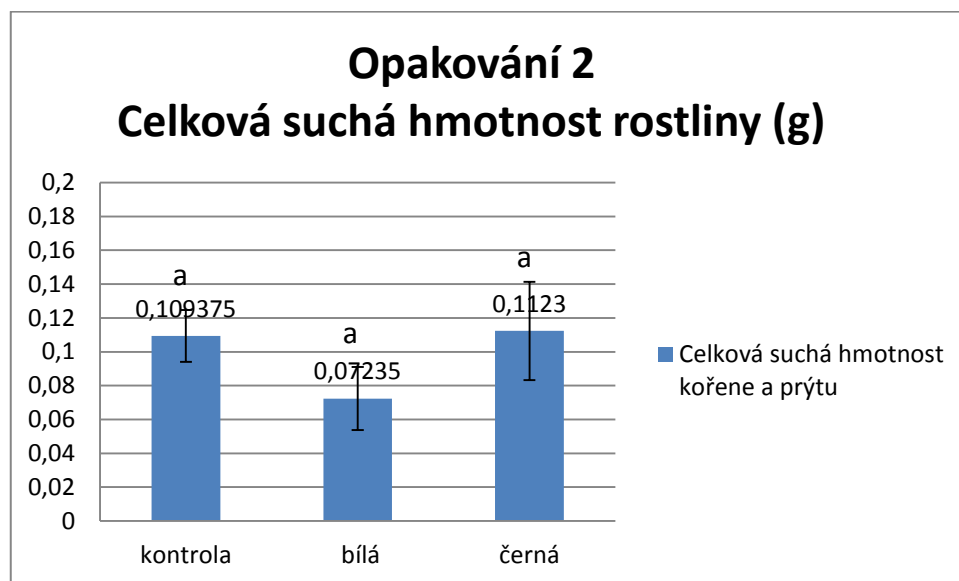
Graf 17: Výsledný graf průměrné suché hmotnosti prýtu z jednotlivých láhví druhé sady.



Graf 18: Výsledný graf průměrné celkové hmotnosti rostlin v čerstvém stavu z jednotlivých láhví druhé sady.

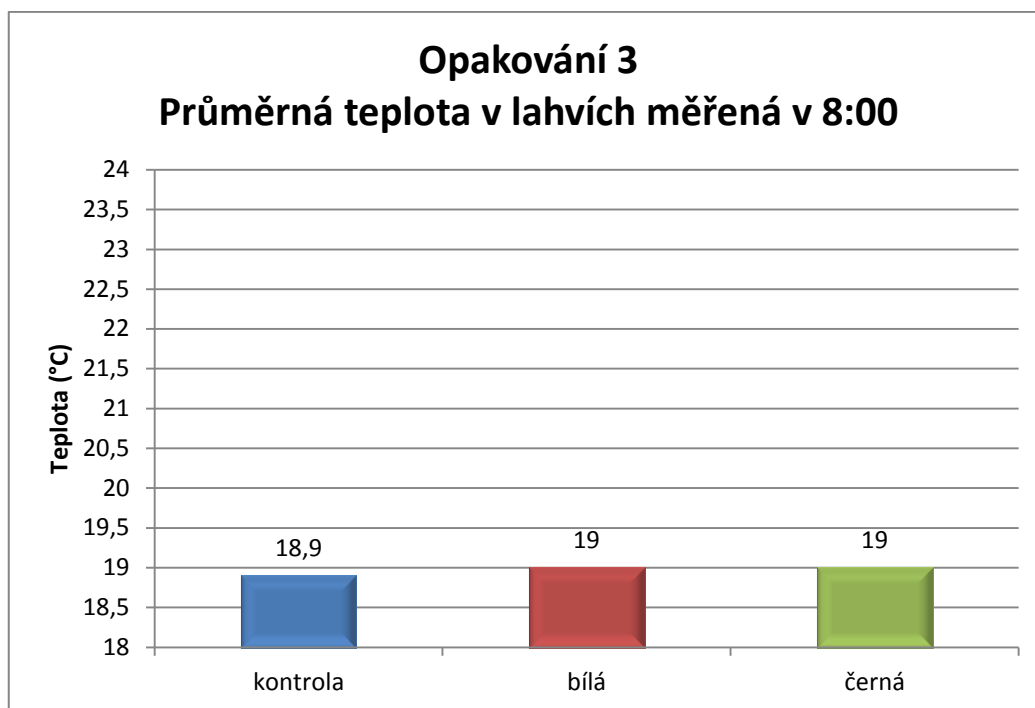


Graf 19: Výsledný graf průměrné celkové hmotnosti rostlin v suchém stavu z jednotlivých láhví druhé sady.

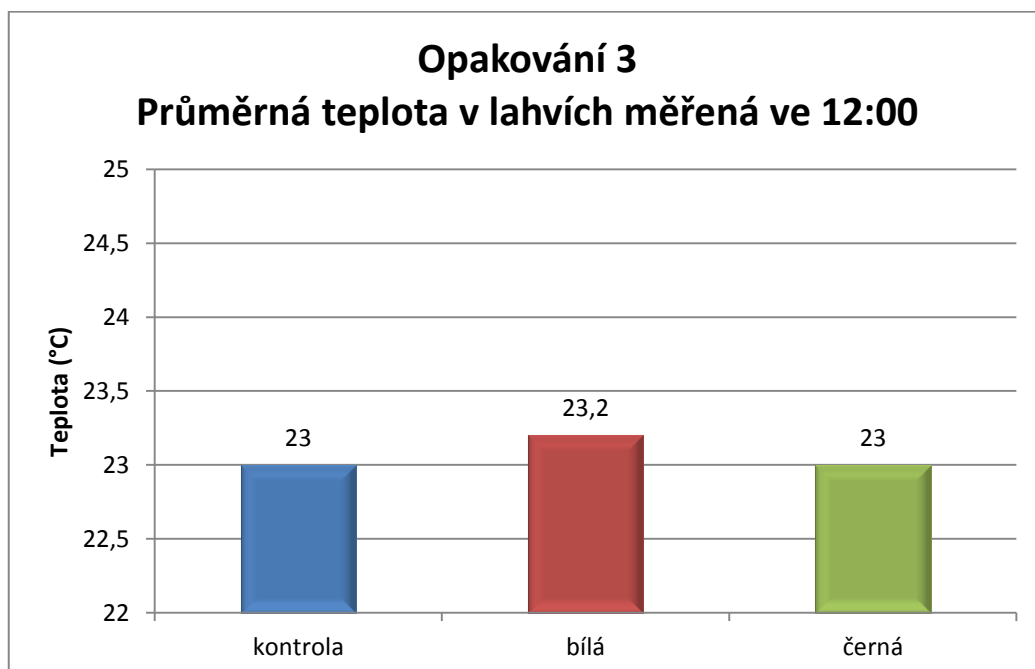


Grafy 20 - 27 shrnují výsledky třetího opakování s odběrem kukuřice po deseti dnech. Rostliny jsou opět kultivovány ve dvoulitrových plastových lahvích. Průměrné teploty v lahvích zde byly téměř shodné, lišily se pouze nepatrně (Graf 20 a 21).

Graf 20: Sada 3. Průměrné hodnoty teplot naměřené v jednotlivých láhvích v 8.00 hodin.

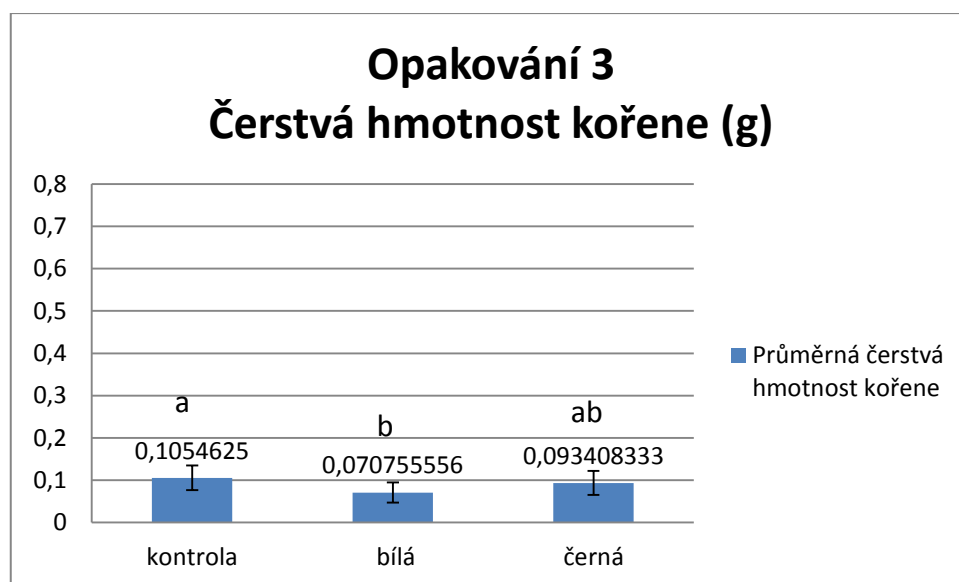


Graf 21: Sada 3. Průměrné hodnoty teplot naměřené v jednotlivých láhvích ve 12.00 hodin.

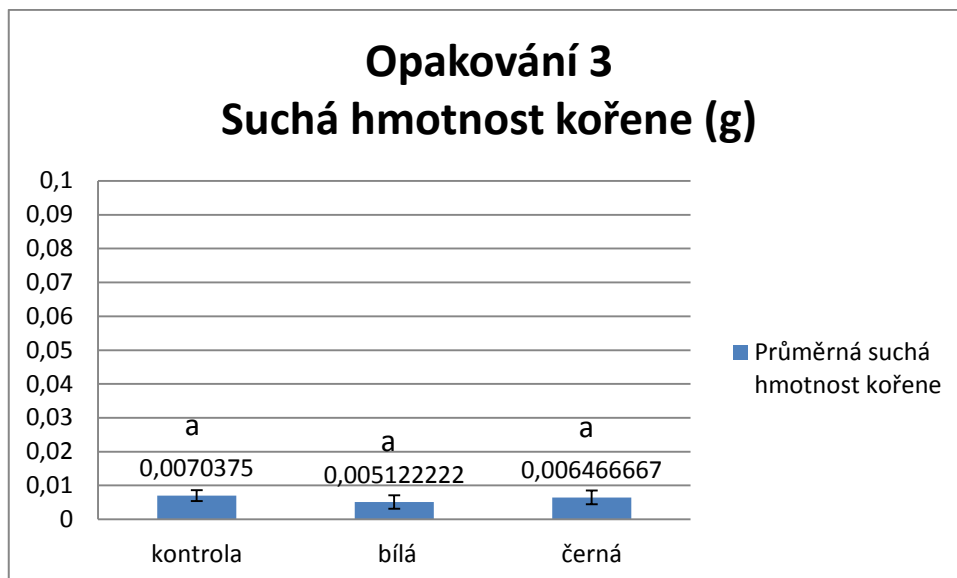


Výsledky (Graf 22 – 27) jsou velmi rozdílné oproti výsledkům z předchozích pokusů. Nejvyšší průměrná hmotnost kořene byla naměřena u rostlin kultivovaných v kontrolní láhvi, druhá nejvyšší hmotnost kořene byla naměřená u rostlin z černé láhve. Poměrně překvapivě byla při měřeních třetího opakování pokusu naměřena nejvyšší hmotnost prýtu u kukuřice pěstované v bílé láhvi, přičemž hmotnost prýtu rostlin kultivovaných v kontrolní a černé láhvi byly téměř shodné. Graf 26 porovnávající celkové průměrné hmotnosti rostlin ukazuje hmotnost rostlin pěstované v bílé láhvi jako nepatrně vyšší než hmotnost rostlin pěstované v kontrolní a černé láhvi, a to jak v čerstvém tak i v suchém stavu.

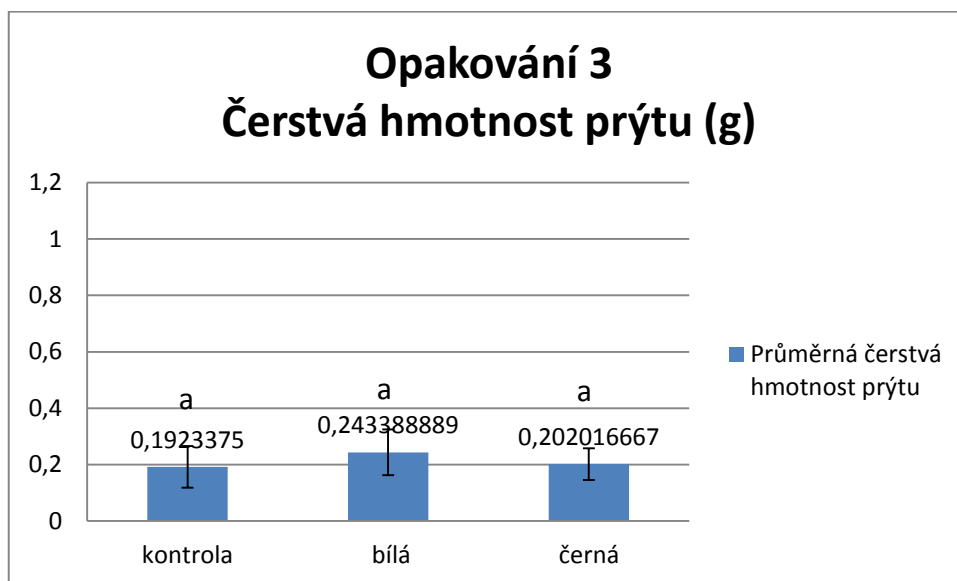
Graf 22: Výsledný graf průměrné čerstvé hmotnosti kořene z jednotlivých láhví třetí sady.



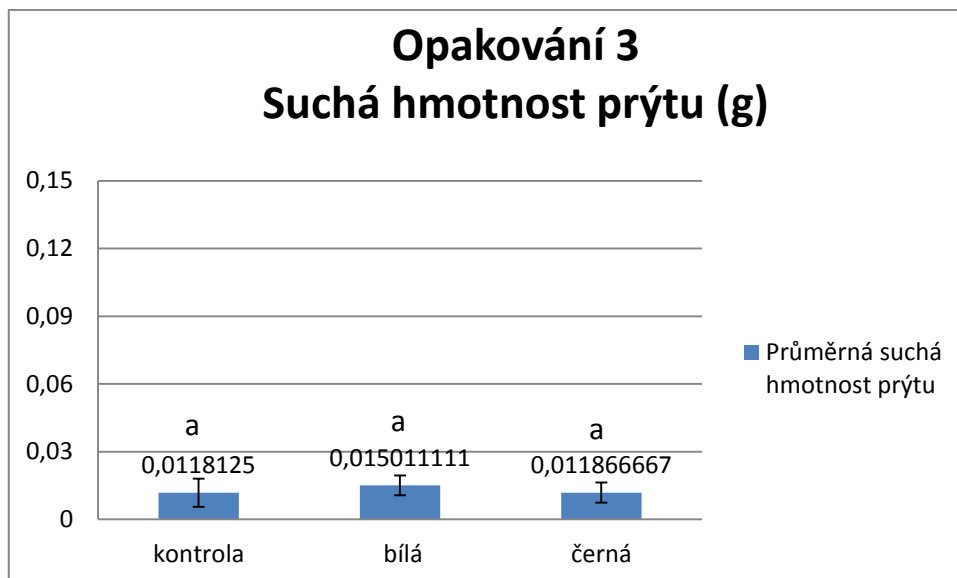
Graf 23: Výsledný graf průměrné hmotnosti kořene v suchém stavu z jednotlivých láhví třetí sady.



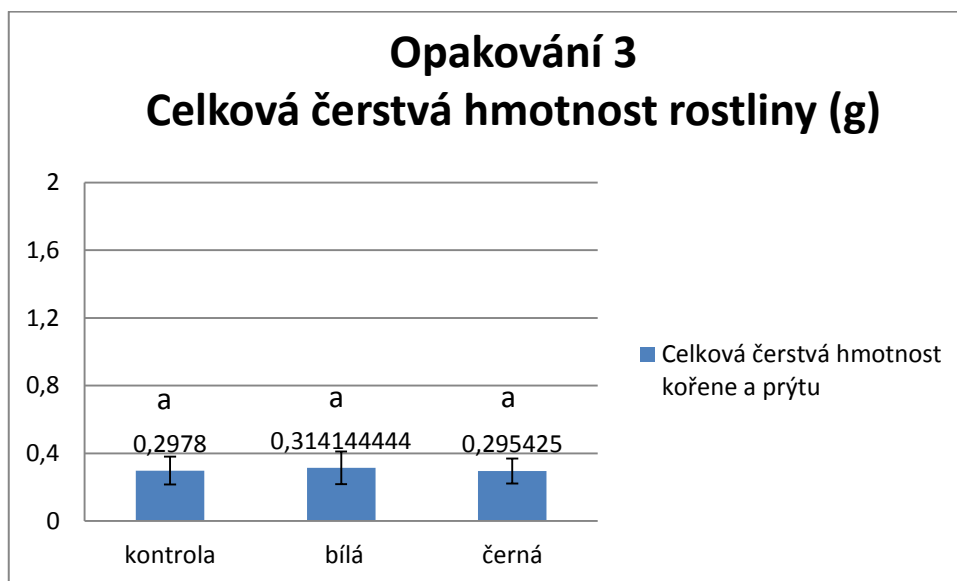
Graf 24: Výsledný graf průměrné čerstvé hmotnosti prýtu z jednotlivých láhví třetí sady.



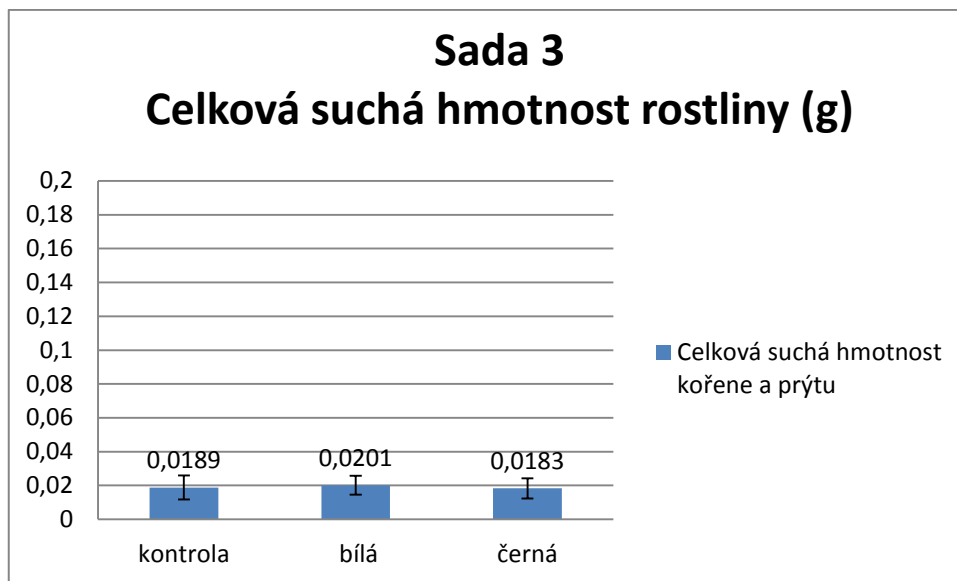
Graf 25: Výsledný graf průměrné suché hmotnosti prýtu z jednotlivých láhví třetí sady.



Graf 26: Výsledný graf průměrné celkové hmotnosti rostlin v čerstvém stavu z jednotlivých láhví třetí sady.



Graf 27: Výsledný graf průměrné celkové hmotnosti rostlin v suchém stavu z jednotlivých láhví třetí sady.



4.2.1. Výsledky pokusu 2 – Statistické zhodnocení

Naměřená data jednotlivých opakování byla podrobena ANOVA testu, tedy statistické metodě analýzy rozptylu. Vždy se jednalo o jednofaktorový test, kde faktorem byla teplota navozená v PET lahvích. Porovnání výsledných hmotností (tj. např. čerstvá hmotnost kořene) ve třech třídách měření (černá, bílá a kontrolní láhev) mělo za záměr zjistit, jestli příčinou rozdílných výsledků v jednotlivých třídách je vliv sledovaného faktoru (tj. rozdíl mezi teplotou v jednotlivých láhvích). Výsledky ANOVA testu ukázaly, že pouze u prvního opakování je výsledná P hodnota menší než standardní pětiprocentní hladina statistické významnosti. Tedy pouze v jednom případě ze všech opakování pokusu se potvrdila závislost čerstvé/suché hmotnosti kořene/prýtu na rozdílu teplot v jednotlivých lahvích. Bylo konstatováno, že pokus negeneruje při jednotlivých opakování stejné výsledky a nemůže tak spolehlivě sloužit k testování hypotézy ohledně závislosti rychlosti růstu rostliny na i drobných teplotních rozdílech. Z těchto důvodů byl tento pokus označen jako nevhodný pro výuku na středních školách a nebylo přistoupeno ke zhotovení metodických a výukových materiálů.

4.3. Výsledky analýzy využitelnosti laboratorního cvičení.

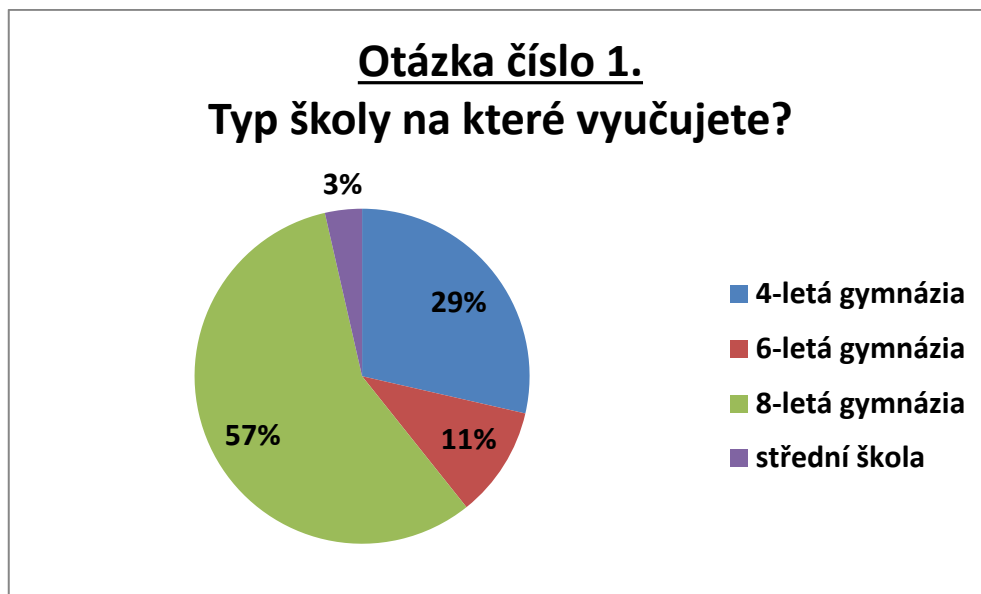
4.3.1. Dotazník pro učitele – Badatelsky orientované vyučování

Po zpracování vyplněných dotazníků pro učitele proběhla jejich analýza a následné porovnání s výsledky dotazníkového šetření ze sdružení TEREZA. Dotazníkové šetření sdružení TEREZA probíhalo v prosinci 2011 a bylo zaměřeno na podobné otázky v oblasti badatelsky orientované výuky.

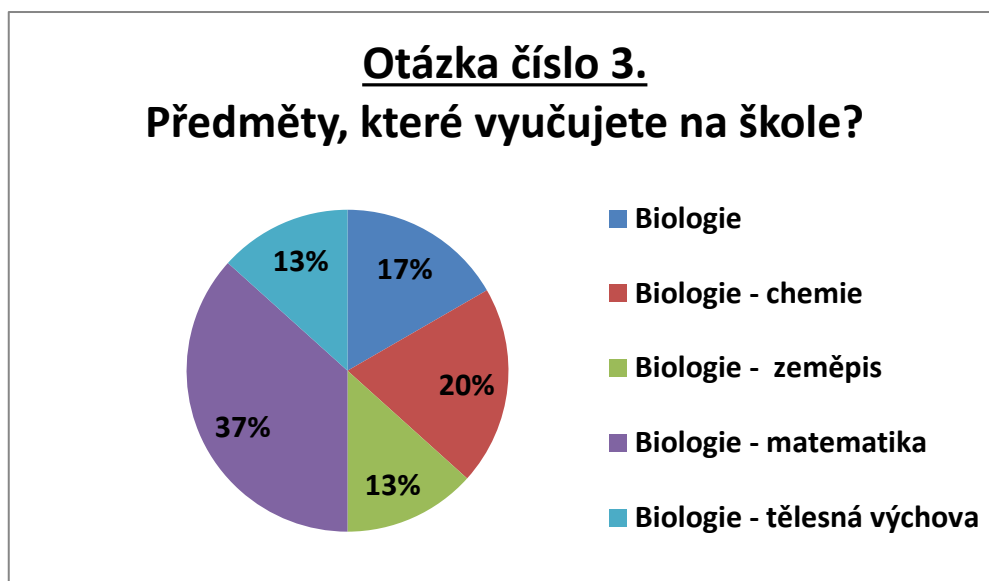
Návratnost vyplněných dotazníků oproti rozeslaným činila 20%. Nižší návratnost byla způsobena vybraným způsobem distribuce dotazníku (elektronicky). Dotazník zodpovědělo celkem 52 učitelů vyučujících především biologii na českých gymnáziích, kteří se aktivně zapojují do přípravy praktické výuky biologie. Shrnutí odpovědí vybraných položek dotazníku je rozebráno v následujícím textu.

Prvních osm otázek bylo zaměřeno na aprobaci učitele, typ školy, na které vyučují, hodinovou dotaci pro předmět biologie v průběhu celého studia a na zařazení tematického okruhu fyziologie rostlin do výuky. Rozdělení respondentů dle typu střední školy či gymnázia, kde vyučují, zobrazuje graf 28, konkrétní předměty, které respondenti vyučují pak graf 29.

Graf 28: Zpracování dotazníkové otázky č.1. Typ školy, na které dotazovaný vyučuje.



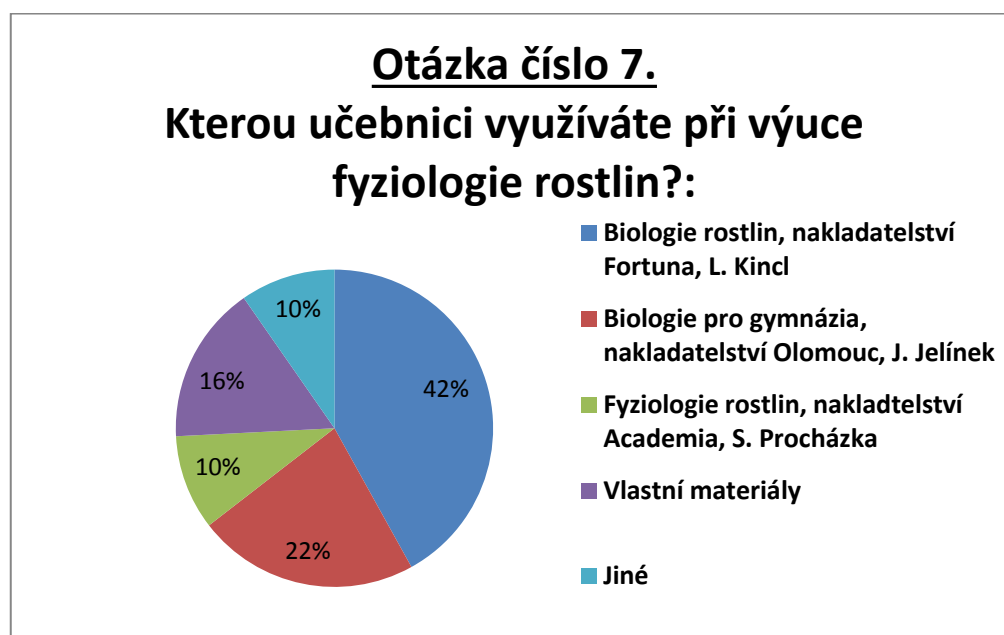
Graf 29: Zpracování dotazníkové otázky č.3. Předměty, které dotazovaní vyučují na školách.



Z prvních osmi otázek dotazníku lze vyvodit následující závěry. Většina respondentů výzkumu vyučuje biologii v rámci 8 letého gymnázia (57 %) v Praze nebo jiném velkém městě. Na otázku číslo 5. „Do kterého ročníku zařazujete výuku fyziologie rostlin?“ odpovědělo více než 95 % učitelů, že toto téma je vyučováno v průběhu 1. ročníku čtyřletého gymnázia, na který připadají průměrně 2 hodiny biologie týdně

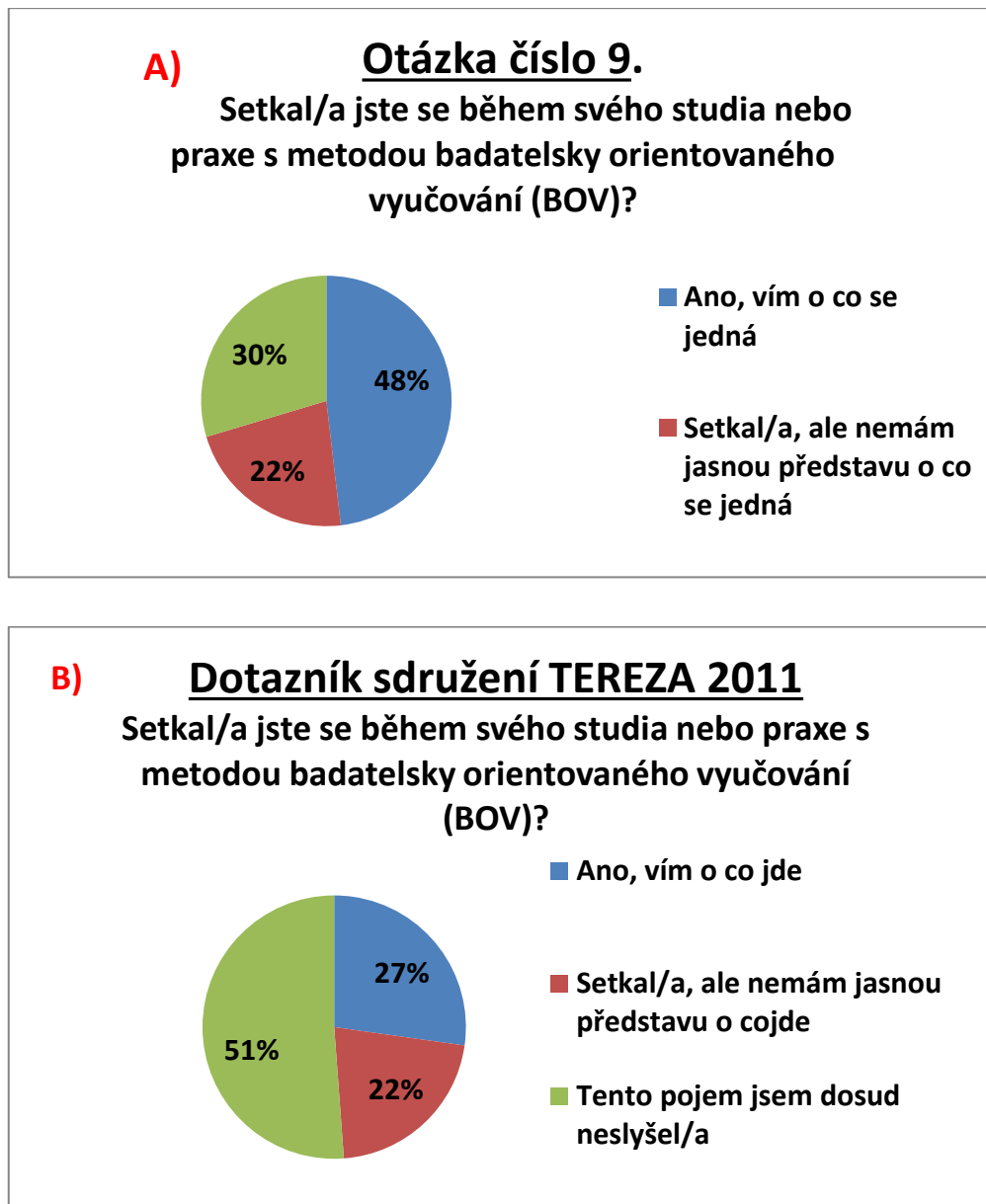
(73 % škol). Hodinová dotace pro téma fyziologie rostlin činí průměrně 16 hodin, přičemž je nutno mít na paměti, že směrodatná odchylka uváděných hodin činí více jak 9 hodin a mnohdy byly odpovědi spojeny s vyjádřením pochybností o uváděném počtu hodin. Otázka číslo 7 se zaměřovala na typ učebnice, kterou učitelé využívají při výuce fyziologie rostlin. V tomto případě byly odpovědi různorodé, nejčastěji se vyskytovaly čtyři učebnice, viz graf 30.

Graf 30: Zpracování dotazníkové otázky č.7. Nejčastěji využívané učebnice pro výuku fyziologie rostlin.



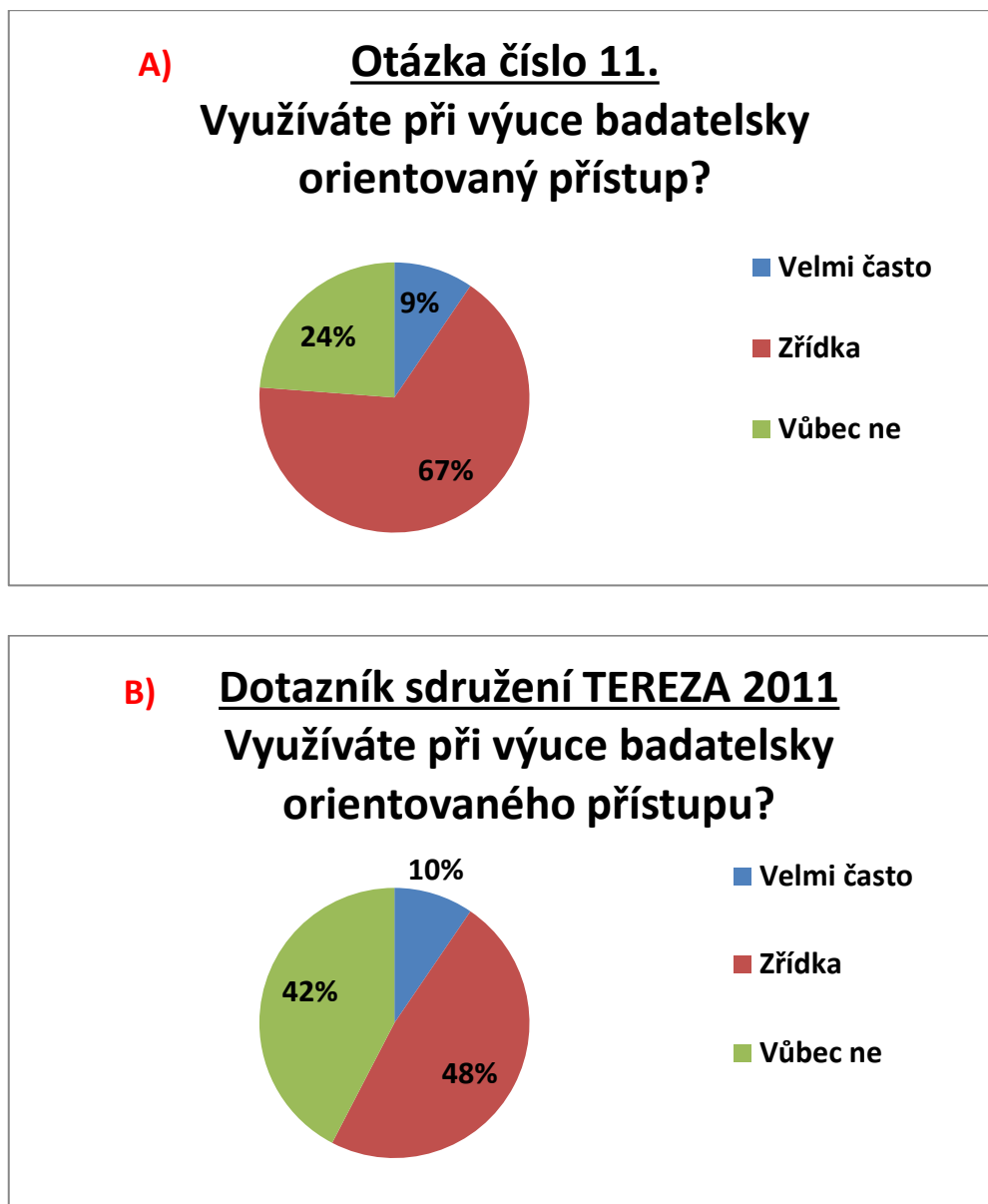
Druhá část dotazníku byla soustředěna na badatelsky orientovanou výuku, především na povědomí učitelů o této metodě a její využití v rámci předmětu biologie. Tyto otázky byly porovnány s výsledky dotazníku sdružení TEREZA, který byl zadáván v roce 2011. V současné době 70 % učitelů uvedlo, že má představu o tom, co označuje pojem BOV. Před třemi lety obdobně odpověděla pouze necelá polovina dotazovaných (šetření sdružení Tereza, 2011) (Graf 31).

Graf 31: Povědomí učitelů o metodě badatelsky orientovaného vyučování. A) Výsledky vlastního šetření Máhrlová 2014, otázka č. 9 – (n=264/52), B) Výsledky dotazníku sdružení TEREZA z roku 2011 (n= x/neuveďeno).



Z šetření vyplynulo (Graf 31), že s metodou BOV se během své praxe setkalo celkem 70 % učitelů. S metodou BOV tedy nikdy nepřišla do styku přibližně třetina učitelů. Z učitelů, kteří badatelsky orientovanou výuku znají, ji aktivně při výuce JIŽ využívá více než tři čtvrtiny. Jedná se o nárůst aktivního užívání metody mezi učiteli, kdy v roce 2011 tuto metodu využívalo 58 % učitelů, kteří o ní již měli povědomí (Graf 32).

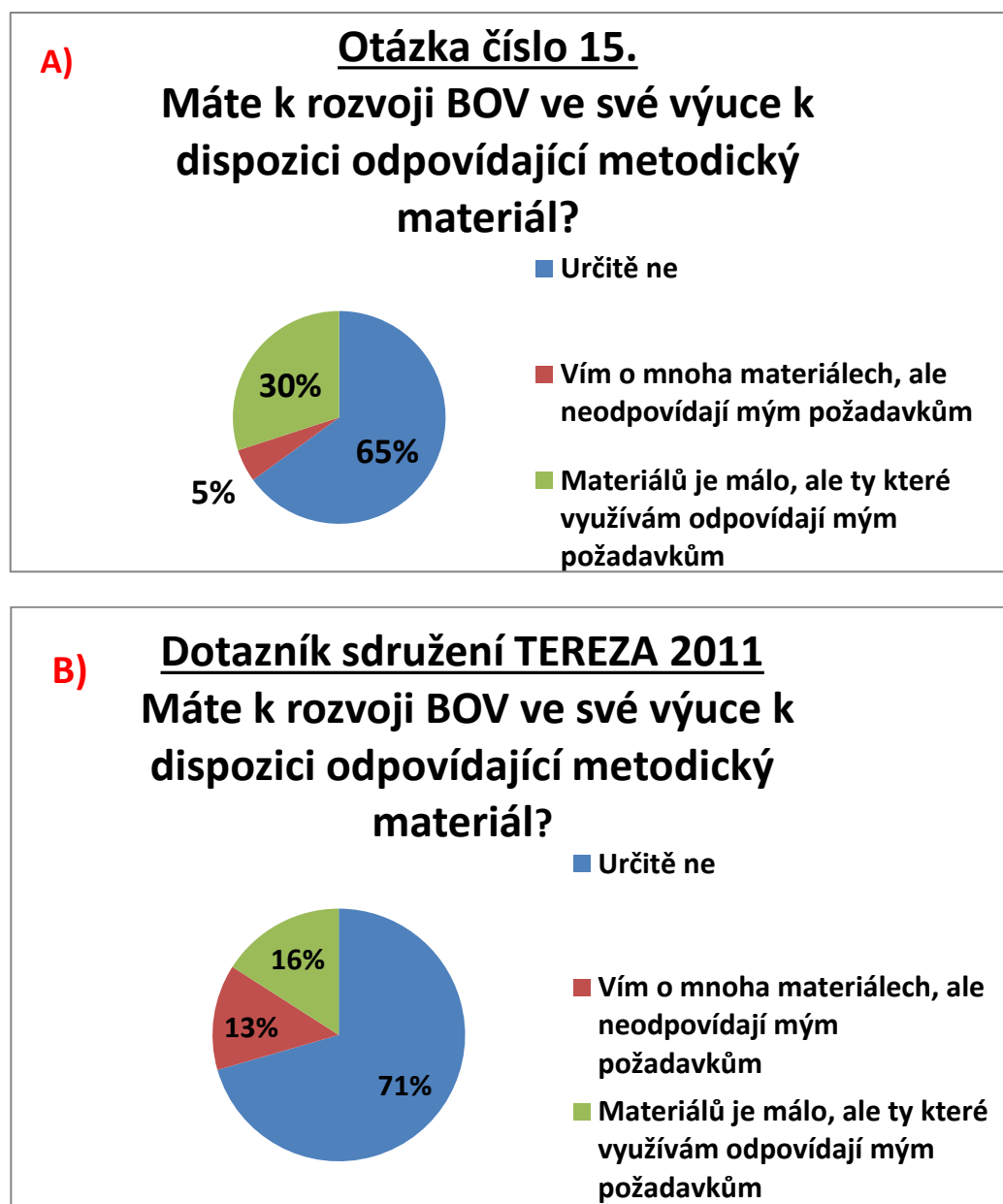
Graf 32: Využití badatelsky orientovaného přístupu při výuce. A) Výsledky vlastního šetření Máhrlová 2014, otázka č. 11 – (n=264/52), B) Výsledky dotazníku sdružení TEREZA z roku 2011 (n= x/neuvedeno).



Výhody badatelsky orientované výuky, které dotazovaní nejčastěji uvádějí, jsou: aktivizace studentů, budování pozitivního vztahu k biologii, navržení a ověření vlastní hypotézy a efektivní zapamatování nabytých poznatků. Za nevýhody učitelé spatřují především časovou náročnost na přípravu a organizaci, nízkou motivaci ze strany vedení školy a nedostatek již vytvořených materiálů. Právě na dostatek metodického materiálu k BOV a jeho využití se zaměřují poslední tři otázky z dotazníku (Graf 33). Z odpovědí na tyto otázky plyne, že 65% učitelů nemá k dispozici žádný metodický

materiál pro badatelsky orientovanou metodu. Oproti roku 2011 je to o šest procent méně, než uvedli učitelé v dotazníku sdružení TEREZA, což je zvýšení vzhledem k ostatním výsledkům dotazníku nepatrné.

Graf 33: Zpracování otázky č. 15, zaměřené na pokrytí badatelsky orientované výuky příslušným materiálem. A) Výsledky vlastního šetření Máhrlová 2014, otázka č. 11 – (n=264/52), B) Výsledky dotazníku sdružení TEREZA z roku 2011 (n= x/neuveďeno).



4.3.2. Analýza pracovních listů využitých při orientačním ověření na škole

Analýza pracovních listů, které byly použity během orientačního ověření na vybrané škole, byla zaměřena především na srozumitelnost a využitelnost laboratorního cvičení. Práce s pracovními listy byla zařazena do klasických laboratorních cvičení v rámci výuky fyziologie rostlin a téma laboratorního cvičení korelovalo s tématem, které žáci probírali v rámci vlastních hodin biologie. Žáci tedy měli vybudované znalostní a pojmové zázemí k danému tématu. Pracovní listy obsahují sedm samostatných úloh (příloha 8.4). Úlohy vypracovalo celkem 54 žáků středních škol.

- Úloha č. 1 vycházela z praxe a měla především motivační charakter. Žáci dle obalů vybraných druhů semen popisovali výsevní postupy, které se u jednotlivých druhů lišily. Úloha vyžadovala orientaci v použitých piktogramech a symbolech na obalu. Tuto úlohu úspěšně zvládlo 95 % studentů. U pěti procent žáků se vyskytovaly údaje, které nesouhlasily s postupem vyobrazeným na zadním obalu semen.
- U úlohy č. 2 nedošlo k zásadním chybám v průběhu řešení a byla řešena se 100% úspěšností.
- Úloha č. 3 se zaměřovala na formulaci vlastní hypotézy a její zdůvodnění. Problémy s touto úlohou se vyskytly u 10% studentů, kteří místo formulace hypotézy popisovali řešení problému. Ostatní studenti vytvořili vlastní funkční hypotézu a sepsali k ní její zdůvodnění, proč si myslí, že jejich hypotéza je správná.
- Úloha č. 4. zaměřená na ověření vědomostí ohledně klíčení a fyziologie rostlin (práce s textem) spojená s brainstormingem, za účelem vytvoření návrhů, jak ověřit klíčení semen. Všichni studenti úlohu úspěšně zvládli.
- Úloha č. 5 zahrnovala popis plánu pokusu a vytvoření tabulky pro zápis naměřených dat. Při řešení problému museli žáci vycházet pouze z tzv. „badatelské bedýnky“, která obsahovala potřebný materiál nezbytný pro sestavení pokusu. Postup řešení však nebyl žákům předložen a žáci tak museli sami navrhnout postup, jak materiál využít, aby bylo možné pokus provést. Zároveň zjišťovali, co bude jeho výstupem. Tato úloha se setkala se 100%

srozumitelností u žáků a žákům se úspěšně dařilo experiment navrhnout a provést.

- Úloha č. 6 se opírala o výsledky pokusu, které žáci měli zaznamenat do grafu. Žáci úloze porozuměli, avšak 85 % studentů znázornilo v grafu závislost uvolňování CO_2 na čase lineární funkcí, ačkoliv závislost má konkávní průběh.
- V Úloze č. 7 se s ohledem na výsledky pokusů hodnotilo potvrzení či vyvrácení původní hypotézy. Zde 45% studentů komentovalo pouze výsledky pokusu, aniž by se navraceli ke své původní hypotéze stanovené v rámci úlohy č. 3 a hypotézu buď potvrdili, nebo zamítli. Zbytku studentů, tj. 55 % se podařilo vyvrátit či potvrdit stanovenou hypotézu na základě provedeného pokusu správně.

Na základě analýzy pracovních listů využitých při orientačním ověření ve škole bylo možné uzavřít, že pracovní listy jsou funkční a nepotřebují zásadních úprav. Z úlohy č. 6 vyplývá, že je třeba závěrem demonstrovat správný graf závislosti uvolňování CO_2 na čase. Největší problém dělalo vyhodnocení hypotézy. Z tohoto důvodu byla po dotazníkovém šetření provedena úprava pracovního listu a přípravy pro učitele, kdy se při formulaci hypotézy nejprve vysvětlí, co to hypotéza je a jak má být správně formulována. Uvedou se příklady správně a špatně formulované hypotézy a objasní se proč.

5. Diskuze

Na tomto místě diplomové práce je vhodné vrátit se k dílčím otázkám obou pokusů a jejich didaktických ambic a prověřit je. Tato kapitola by měla přinést bližší odpovědi na otázku, proč jsou pokusy vedeny způsobem, který je popsán v kapitole 2, jaké přinášejí výsledky a zda plní funkci badatelsky orientované výuky tématu vlivu rostlin na fyziologické procesy u rostlin. První a klíčovou z těchto otázek je otázka výběru tématu vlivu teploty na vývoj a růst rostlin. Důvod, proč se práce zabývá právě souvztahností těchto jevů, a proč připravuje metodu pro studium těchto vztahů na středních školách, je jednoduchý a byl již naznačen v teoretickém úvodu práce.

Současným velmi diskutovaným tématem je klimatická změna a globální oteplování, jako jeden z jejích projevů. Toto je téma globálního rozměru a je diskutované nejen odborně ale i celospolečensky. Množství jevů, na které má teplota v přírodě vliv je enormní a ne všechny jsme schopni vyjmenovat. Navíc dopady změn teploty mohou interagovat a řetězit se s dalšími projevy klimatické změny, jako je výskyt extrémních klimatických událostí. Diskutuje se o vlivu teploty na zvýšení hladiny oceánů z důvodu tání ledovců, změny biodiverzity z důvodu posouvání areálu výskytu rostlinných a živočišných druhů k pólům a do vyšších nadmořských výšek, včetně posouvání hranice lesa do vyšších nadmořských výšek a též o reakcích živých organismů na vyšší teploty a na prodlužování vegetačního období (IPCC 2008, 2014, Metelka a Tolasz 2009). Například je diskutován i výskyt různých druhů hmyzu – klíšťat, komárů a s nimi spojeným šířením tropických a jiných nemocí mimo svá dosavadní teritoria, a podobně (Metelka a Tolasz, 2009). Silně diskutovaným tématem je především vliv globálního oteplování na rostliny a na potravinovou zemědělskou výrobu. Působení teplot na rostliny je důležité pro hledání optimálních podmínek jejich pěstování i pro šíření jejich škůdců. Právě různá teplota geografických pásem určuje teritoria, v kterých je možno pěstovat určité plodiny, zatímco jiné je nutné dovážet. Pro porozumění dopadům klimatické změny je zásadní získat i odpovědi na otázky: Ohrožuje globální oteplování produkci určitých rostlin? A jakým způsobem? Význam zkoumání působení teplot na procesy rostliny nelze opomíjet, vzhledem k dalekosáhlým důsledkům na životní prostředí a potravinové zdroje, podobně lze toto téma považovat za zajímavé

společensky a tedy i pro studenty středních škol. Význam tohoto tématu je tedy nezpochybnitelný.

Výše uvedenou atraktivitu tématu bylo třeba vzít v potaz i při výběru rostlinného materiálu našeho pokusu. Výběr materiálu byl proveden tak, aby byl jednoduše dostupný, dobře se s ním v průběhu pokusu pracovalo, poskytoval stabilní výsledky a zároveň jeho pěstování mělo společenský význam. Proto i pro didaktické účely je vhodnější zvolit hospodářské plodiny. Při výběru rostlinného materiálu jsme též brali v úvahu odlišná teplotní optima rostlin s C3 a C4 typem fotosyntézy (viz obr 13). Zároveň při výběru druhů rostlin byl kladen důraz na klíčivost semen při jednoduchých podmínkách a jejich dostatečnou rezistenci k houbovým infekcím. Sterilizací popsanou v kapitole příprava rostlinného materiálu jsme se pojistili proti plísňovému napadení. Jako první materiál byla vybrána kukuřice setá (*Zea mays L.*), rostlina s C4 typem fotosyntézy. Kukuřici lze pořídit kdekoli v zahradnických potřebách, rychle klíčí ve vlhkém a teplém prostředí, dobře se s ní pracuje pro velikost semen. Kukuřice je dále nejrozšířenější plodinou pěstovanou v České republice pěstována na ploše asi 215 tisíc hektarů a s produkcí přes 8,3 miliónů tun v minulém roce (Český statistický úřad). Druhou plodinou vybranou pro pokus je fazol obecný (*Phaseolus Vulgaris L.*) s C3 typem fotosyntézy. Plodina sdílí s kukuřicí výše uvedené vlastnosti dobré dostupnosti a klíčivosti, které ji činí vhodnou pro pokus. Pěstování fazolu není v České republice nijak zvláště rozšířené, jedná se však o zástupce bobovitých rostlin, které patří mezi rostliny schopné v přírodních podmínkách ve spolupráci s prokaryotickými organizmy vázat vzdušný dusík. Semena fazolu jsou běžně dostupná a hojně využívána v oblasti gastronomie.

Nejen výběr materiálu, ale i pokus samotný bylo nutno koncipovat takovým způsobem, aby byl realizovatelný ve středoškolském prostředí. Má-li být pokus využit na středních školách, není možné, aby jeho realizace závisela na vybavení, které není standardním vybavením laboratoří středních škol, nebo jehož obstarání by žádalo po škole investice. Oba pokusy lze provést s vybavením, které je možno snadno obstarat. Příprava rostlinného materiálu nevyžaduje žádné speciální technologie a lze ji provést například

doma. Časová náročnost přípravy rostlinného materiálu činí 7-10 dní. (míněno času potřebného ke klíčen, nikoliv vlastní práce).

Mezi cíle mé diplomové práce je zařazeno sestavení modelových úloh, které simulují rozdílné teplotní podmínky pro růst rostlin za splnění výše uvedeného. Tyto úlohy by měly být dále postaveny tak, aby efektivně prezentovaly projev vlivu teploty na růst rostlin pomocí experimentů, které by byly jednoduché, demonstrativní, snadno opakovatelné s koherentními výsledky. Navrhnuté pokusy prošly opakovaným ověřením a závěrečným statistickým zhodnocením, jak bylo demonstrováno v kapitole 4. Výsledky. Průkaznost pokusů je diskutována v následujících kapitolách diskuze.

5.1. Pokus 1 – Vliv teploty na uvolňování CO₂ během klíčení fazolu při rozdílných teplotách

Pokus 1 byl sestaven tak, aby demonstroval změnu uvolňování CO₂ u klíčících semen fazolu vystaveného rozdílným teplotám. Bližší postup pokusu je popsán výše v kapitole 2.3. Experimentální systémy a kultivace. Zopakujme, že k měření CO₂ byla užitá indikační kapalina od firmy JBL, které se využívá především v akvaristice pro měření koncentrace CO₂ ve vodě. Metoda nepřímého měření koncentrace CO₂, (měření z vody, nikoli ze vzduchu) byla zvolena z důvodu širší dostupnosti a nižší finanční náročnosti metody (cena přibližně 400,- Kč). Výhodou shledávám i možnost opakovaného použití. Pokus porovnával dva vzorky. Vzorek A byl vystaven teplotě kolem 22°C, zatímco vzorek B byl vložen do lednice, kde se teploty pohybovaly kolem 5°C. Pokus byl opakován celkem pětkrát a vždy se dosáhlo předpokládaného výsledku.

Při měření CO₂ nepřímou metodou je však nutné mít na paměti, že rozpustnost CO₂ ve vodě nezávisí pouze na množství CO₂ ve vzduchu, ale závisí i na dalších veličinách, konkrétně na teplotě okolí a parciálním tlaku plynu. Nelze však konkrétně určit hodnotu koncentrace CO₂ ve vzduchu, na základě množství CO₂ rozpuštěného ve vodě a okolní teplotě prostředí. Tento fakt však působí v rámci pokusu nepřesnosti, které je možno zanedbat. Měření koncentrace CO₂ indikační kapalinou se prokázalo jako spolehlivé a dostatečně prokáže rozdíl koncentrace CO₂ ve dvou teplotně odlišných

systémech, jak bylo dále potvrzeno měřením CO₂ přímo ze vzduchu pomocí přístrojového senzoru z řady Vernier.

Senzor CO₂ je jeden z mnoha produktů společnosti Vernier, která se zaměřuje na vybavení pro výuku přírodovědných oborů. Zároveň tato společnost poskytuje akreditované školení, technickou i metodickou podporu a možnost zdarma zapůjčit vybrané přístrojové sady. Manipulace s tímto přístrojem je velmi jednoduchá a naměřená data se zpracovávají v programu Logger Lite, který je zdarma ke stažení na domovských stránkách společnosti www.vernier.cz. Vzhledem k ceně senzoru CO₂, která činí 10 506,- Kč (<http://www.vernier.cz/produkty/database>), byl tento senzor použit pouze pro kontrolní měření koncentrace CO₂. Pro vlastní měření v rámci provádění této diplomové práce byl senzor CO₂ zapůjčen z katedry učitelství a didaktiky biologie, Přírodovědecké fakulty, Univerzity Karlovy v Praze.

Vytvořená teplotně odlišná prostředí, ve kterých probíhalo měření, poskytla takové podmínky, za kterých bylo možné prokazatelně určit, jaký vliv má teplota na průběh respirace u klíčících semen. U vzorku A došlo k vysokému nárůstu koncentrace CO₂, jako následek probíhající respirace. Pokojová teplota, při které probíhalo měření, měla stimulující efekt na tento děj. U vzorku B, který byl vystaven působení teploty o 5 °C, docházelo ke zpomalení až utlumení respirace, což souviselo právě ve změně koncentrace CO₂. V průběhu respirace dochází k tvorbě energetického zdroje ve formě ATP a různých meziproduktů. Vytvořená energie a produkty respirace jsou klíčové pro tvorbu a vývoj rostlinného těla. Pokus prokázal, že vývoj semen u vzorku A postupoval rychleji než u vzorku B, jak by nepochybně bylo vidět v delším časovém horizontu, tedy že teplota 22°C je pro proces klíčení optimálnější než teplota 5°C.

Na základě opakování pokusu a koherentních výsledků byly k tomuto pokusu vypracovány metodické materiály společně s pracovními listy pro střední školu. K zamyšlení by mohlo být i využití obou metod pro zjišťování koncentrace CO₂ k porovnání spotřeby CO₂ v průběhu fotosyntézy u rostlin vystavených dobrým světelným podmínkám a ve tmě.

5.2. Pokus 2 – Vliv teploty na růst kukuřice seté rostoucí při rozdílných teplotách

Sestava druhého pokusu zahrnovala sadu lahví z polyethylentereftalátu, běžně označované jako PET lahve, o objemu dvou litrů. Jedná se o dostupný a levný materiál. Část povrchu lahví byl natřen malířskou bílou a černou barvou, opět se jedná o materiál, který je běžně nabízen v obchodech pro domácnost. Systém takto natřených lahví měl za záměr vytvořit takové prostředí pro rostliny, které by se lišilo o pár stupňů Celsia. Nízké teplotní rozdíly mají evokovat prognózy globálního oteplování a teplotní změny, které se v budoucnu předpokládají. Mezivládní panel pro změnu klimatu (Metelka a Tolazs, 2009) uvádí několik scénářů, jak by se mohla v budoucnu teplota změnit (Obr. 5 a Tab. 1). Ale nezávisle na scénáři je jisté, že teplota bude nadále vzrůstat, jen je otázkou jako rychlostí. Měření teploty uvnitř jednotlivých lahví zajišťovaly skleněné lihové teploměry, které jsou k dostání v obchodech s laboratorní a zdravotnickou technikou. Celá aparatura tohoto pokusu byla sestavena z běžně vyskytujícího se materiálu, náklady na ní byly minimalizovány.

Zpracování rostlinného materiálu na školách v rámci tohoto pokusu by vyžadovalo nemalé finanční výdaje na pořízení laboratorní váhy s přesností minimálně na tisíciný gramu, pokud bychom usilovali o to, vážit každou rostlinnou část zvlášť (tj. prýt a kořen v čerstvém a suchém stavu). Příklad takových přesných školních vah je uveden na internetovém odkazu <http://www.laboratorni-vahy.cz/skolni-vaha-kern-572>. Kde výrobce nabízí školní váhy KERN 572 s přesností na 0,001 g za 13 700,- Kč. Součástí těchto vah není skleněná skříňka, která slouží jako ochrana proti proudění vzduchu a bylo by nutné ji samostatně dokoupit za 4 000,- Kč. Tyto váhy jsou na trhu běžně dostupné, ale vzhledem k vysoké finanční náročnosti tohoto vybavení je vhodné ho nahradit levnější variantou, užitím tzv. kapesní váhy. Online prodejny nabízí širokou škálu kapesních digitálních vah, které se liší v maximální váživosti od 200 g do 500 g s přesností až 0,01g. Pro potřeby tohoto pokusu je třeba zajistit měření prostřednictvím kapesní váhy, která má nejvyšší rozlišení, tj. na setiny gramu. Cena digitálních kapesních vah této přesnosti se pohybuje v rozmezí od 350,-Kč do 1 500,-Kč. Je však

nutno zmínit, že i přes toto vysoké rozlišení by bylo nezbytné zpracovávat rostlinný materiál po jednotlivých lahvích, tedy pro každou skupinu rostlin z bílé/černé/kontrolní lahve v souhrnu. Sušení rostlinného materiálu je velice usnadněno užitím mikrovlnné trouby, přičemž tento způsob sušení zkracuje dobu k dosažení výsledku oproti klasickému sušení, nebo sušení v troubě na několik minut, což je ve výuce vítáno.

Z výsledků pokusu bylo nutno konstatovat, že technický postup, kdy byly klíční rostliny umístěny do lahví s různou propustností světelného spektra, nepostačil vytvořit pro pokus takové rozdílné teplotní podmínky, které by vedly k jednoznačným změnám hmotnosti sušiny rostlin. Maximální rozdíly v jednotlivých lahvích činily 0,6 °C mezi bílou a černou láhví ve druhém opakování. V průběhu třetího opakování dokonce teploty v bílé láhvi byly průměrně vyšší, než v lahvi černé. Navržený systém pracuje s nízkými teplotními rozdíly, neboť jeho smyslem byla simulace nepatrných teplotních rozdílů srovnatelných s postupnými klimatickými změnami. Vliv vyšší absorpce světla u systému obsahujícím vzorky v černé lahvi nepostačí k tomu, aby znatelně předčil ostatní vlivy, od nichž nelze systém izolovat a poskytl opakovatelné, měřitelné a stabilní výsledky. Zároveň mělo na výsledky velký vliv umístění lahví. Při prvním opakování byly lahve umístěny ve skleníku a pravděpodobně to zapříčinilo stabilní teplotní rozdíly v jednotlivých lahvích. U druhého a třetího opakování pak lahve byly vystaveny za oknem a záleželo, na jakou světovou stranu jsou orientované. U druhého opakování byly lahve orientované na jih. U třetího opakování na sever, což možná zapříčinilo téměř stejné teploty ve všech lahvích. Vzhledem nedostatečně signifikantním výsledkům pokusu se nepřistoupilo k vyhotovení výukového materiálu. Pokud by se tento experimentální systém měl využít, patrně by bylo nutné použít nějaký zdroj tepla, který by v jedné z ošetřovaných variant zvyšoval teplotu výrazněji než o desetiny stupně.

5.3. Dotazníkové šetření

Pokud chceme zavádět do výuky nové metody a přístupy k vědě, je nutné ji posoudit z hlediska dvou rovin. První z nich spočívá v otázce, jak jsou schopni s touto metodou pracovat studenti, druhou pak, jak jsou s ní schopni pracovat učitelé. V této kapitole se práce zaměřuje do roviny druhé. Tu je možno rozdělit do tří základních otázek:

- Je metoda BOV učitelům známa a mají s ní zkušenost?
- Mají učitelé o tuto metodu zájem?
- Akceptují využitelnost metody BOV při výuce?

K zodpovězení otázek bylo připraveno neadresné dotazníkové šetření. Šetření probíhalo na výběrovém vzorku souboru učitelů středních škol. Jednalo se o účelový výběr, kdy dotazník byl rozeslán na vybraných 264 českých Gymnáziích. Výběr Nejjednodušší cesta jak dopravit vytvořený dotazník respondentům vedla přes internetovou aplikaci Google Docs, která poskytuje pohodlné vyplnění dotazníků a přehledné zaznamenání a zpracování výsledků do tabulky. Metoda umožnila oslovit širší okruh respondentů, než klasický tištěný dotazník. Touto cestou se zúčastnilo dotazníkového šetření 52 učitelů, což činí téměř 20% návratnost rozeslaných formulářů. Návratnost byla podpořena poskytnutím výukového materiálu zdarma oproti vyplněnému dotazníku. Neadresnost dotazníkového šetření byla dostatečně kompenzována šíří výběru souboru (264 oslovených škol) a metodou účelového výběru, které jsou relativně přesné a vytváření model základního souboru s vysokým stupněm reprezentativnosti (Bedrnová, Nový et al, 2007).

V rámci dotazníku učitel hodnotil svůj postoj a zkušenost s badatelsky orientovanou výukou. Zároveň mohl vyjádřit svůj názor ohledně výhod a nevýhod spočívající v uplatnění této metody. Z výsledku dotazníku vyplynulo, že k uplatnění nové výukové metody chybí především podpora ze strany vedení školy. Učitelé tak nejsou externě motivováni k hledání příležitosti a možnosti, jak se s takovou metodou dostat do kontaktu, v podobě různých seminářů a kurzů, které jsou nabízeny a musí tak motivaci k aplikaci metody hledat sami. V praxi však existují možnosti, jak zajistit pro metodu BOV dostatečné zázemí. Z několika případů lze zmínit např. Kurz pro pedagogy: Badatelsky orientovaná výuka s podporou dostupných ICT organizovaná v rámci

projektu svět techniky (svet-techniky-ostrava.cz). Mnoho materiálu s informacemi o metodě BOV je nabízeno také na metodickém portálu RVP (www.rvp.vz). Od roku 2009 byla také po čtyři roky organizována PedF JU v Českých Budějovicích a PedF MU v Brně letní škola badatelsky orientované výuky pro učitele a další pedagogické pracovníky. Nelze se však domnívat, že k širšímu seznámení s touto metodou postačí intrinstická motivace učitelů. Přesto, jak ukázalo srovnání výsledků z dotazníku vlastního šetření a z dotazníku zadávaného sdružením TEREZA (2011), si metoda BOV buduje v České republice stabilnější zázemí. Učitelé tuto metodu častěji zařazují do své výuky a využívají různých badatelsky zpracovaných materiálů, kterých je dle jejich názoru nedostatek. Právě tento nedostatek materiálů tvoří limit v rozvoji této metody. Proto je v současné době pro rozšíření metody BOV důležitá dostupnost badatelsky orientovaného výukového materiálu. Tuto možnost v současné době nabízí server www.badatele.cz a www.projekt3v.cz. Zde učitelé naleznou přístup k různým badatelsky zpracovaným lekcím od jiných učitelů. Dále je nutné vypracovávat badatelsky orientované výukové materiály na různorodá přírodovědná témata a zpřístupnit je učitelům.

5.4. Výukový materiál a jeho orientační ověření na škole

Výukový materiál byl rozdělen na část metodickou, která slouží jako návod pro učitele a z pracovních listů pro žáky. Tyto materiály byly vypracovány badatelsky orientovanou metodou. Struktura tohoto výukového materiálu je inspirovaná návodem jak si sestavit vlastní badatelskou lekci, která je popsána v Průvodci pro učitele badatelsky orientovaným vyučováním (Badatelé.cz, 2013). Tato publikace vznikla ve spolupráci s učiteli, kteří se zapojili do projektu Badatelé.cz společně s odborníky z vysokých škol. Učitelé i odborníci spolupracovali v rámci externího týmu, který byl řízen metodickým sdružením TEREZA. V rámci této spolupráce vznikl i soubor badatelských lekcí (tzv. Bádálek), který je určen pro základní výuku biologie. Projekt 3V – vědě a výzkumu vstříc, který probíhal v letech 2009 – 2011, vytvořil ve spolupráci s PŘF UK, ČZU a pedagogy středních škol metodické materiály zaměřené na badatelsky orientované vyučování.

Záměr tvorby výukového materiálu zpracovaného badatelsky orientovanou metodu má za cíl podpořit u žáků myšlení a rozvíjet dovednost samostatně plánovat a ověřit navržený pokus a tím podpořit zájem o samotnou vědu. Význam badatelsky orientovaného vyučování je zdůrazňován také ve smyslu jeho přínosu pro vzdělání pro trvale udržitelný rozvoj (Ye a kol., 2008) či řešení problémů současného světa v globálním měřítku (Michaels a kol., 2008). Očekávaný výstupem z laboratorního cvičení vedené badatelskou formou je osvojená schopnost žáka formulovat vlastní hypotézu na daný problém, sám nalézt a postupovat systematicky v řešení, vyhodnotit výsledky pokusu a vytvořit vlastní závěry s odkazem na původní hypotézu.

V průběhu orientačního ověřování výukového materiálu na žácích nedošlo k nedostatkům ze strany srozumitelnosti zadané úlohy. Problémy žáků pramenily ze skutečnosti, že žáci se poprvé setkali s metou BOV a byli zaskočeni, že se od nich očekává nejenom provedení samotného pokusu, ale i jeho sestavení na základě vytvořené vlastní hypotézy. To na jednu stranu zvýšilo míru aktivity studentů hned několikanásobně, avšak žáci často chybovali v tom, že výsledky vlastního pokusu zpětně neporovnali s vlastní navrženou hypotézou, tedy neuvedli v závěru, zda tímto pokusem svojí hypotézu potvrdili či vyvrátili. Tento jev je nutno přičíst nezkušenosti žáků s touto metodou a tedy obecně se znalostí obecné metodiky vědy. Přes uvedené, hodnotím výsledky ověření pokusu v praxi pozitivně. Samotní žáci označili tento pokus za zajímavý a shodli se, že tento postup je nutí více přemýšlet o řešení pokusu a využít již nabytých znalostí k danému tématu. Pokus kladně hodnotil přihlížející učitel, který poté zadával samostatně tuto úlohu dalším skupinám žáků. Z pozitivních aspektů metody vyzdvihl strukturu a srozumitelnost pracovních listů, výběr materiálu a důkaz dýchání semen pomocí využití indikační kapaliny. Zároveň mi potvrdil, že žáci se s touto metodou setkali prvně a že jsou většinou zvyklí postupovat při laboratorní práci dle přesného návodu krok za krokem, bez formulace vlastních hypotéz a zodpovězení klíčových otázek typu „Proč?“. Učitel zařadil tento pokus do svého laboratorního portfolia a plánuje ho využít opakovaně v průběhu dalších laboratorních cvičení, zaměřené na fyziologii rostlin pro 1. ročníky.

5.5. Badatelsky orientované vyučování biologie na středních školách

Badatelsky orientované vyučování spadá do aktivizačních metod přírodních věd a biologie, které se zaměřuje především na aktivní účast žáků a podporu jejich samostatného myšlení a dovednost řešit problém na základě vlastního výzkumu. Velký důraz je kladen i na závěrečnou část celého procesu objevování – tj. rozpravy s ostatními žáky a formování koherentních argumentů (Janík a Stuchlíková, 2013). Často kladenou otázkou je průkaznost efektivity této metody. Na toto se zaměřila spousta výzkumných studií, například v práci Kane (2013) se zaměřovali na motivaci žáků městských škol, kteří byli vyučováni badatelsky orientovanou formou. V závěru této práce uvádí, že při využití badatelské metody dosáhli lepších výsledků, především aktivního zapojení žáků, a to i navzdory zvolenému tématu, které bylo žákům vyrůstajících v městském prostředí značně vzdálené. Zároveň se můžeme setkat i s různými obtížemi při zavádění BOV, jak uvádějí Edelson, Gordin a Pea (1999), tyto obtíže spočívají v dovednosti a dosavadní znalosti studentů nutných pro zkoumání a omezení průběhu výzkumu (časové, materiální, atd.). Rychnovský (2011) udává za všeobecné nevýhody metody BOV nepropracovanost a nesystematičnost výuky, jako všeobecné výhody při využití BOV označuje hlubší paměťové stopy, rozvoj kreativity, respektování druhého názoru a zlepšení schopnosti formulovat a obhájit své postoje. Přesto si na základě svých výsledků z praxe metoda BOV získává větší pozornost ve světě i v České Republice.

Samotná zpráva Evropské Unie vydaná v publikaci Science Education NOW, A renewed Pedagogy for the Future of Europe, 2007 (ec.europa.eu/research/science-society/document_library/pdf_06/report-rocard-on-science-education_en.pdf) formuluje hned několik doporučení, která se zaměřují na nutné změny v přístupu přírodovědného vzdělávání. Jedno takové doporučení nabádá inovovat pedagogické metody a uvádí jako nutnost zavést do výuky badatelsky orientované způsoby práce. Rovněž zdůrazňuje potřebu vzdělávat učitele tak, aby byli kompetentní takové metody aplikovat ve výuce a efektivně je využívat. V závěru této zprávy se uvádí, že BOV získala dobré výsledky v primárním a sekundárním vzdělávání.

Výhled do budoucna naznačuje, že tato metoda má vysoké ambice si vybudovat stabilní zázemí na českých základních a středních školách, a tím přispět k výchově kvalitněji připravených studentů pro studium nejen biologie na vysokých školách, neboť badatelsky orientované vyučování vede žáka především k vědeckému přístupu řešení problémů.

Závěr

Diplomová práce se zaměřuje na vypracování výukových materiálů badatelsky orientovanou formou, na téma vlivu teploty na vývoj a růst rostlin. Důležitost vyhotovení výukového materiálu touto formou plyne z aspirace zatraktivnit výuku biologie a tím podpořit zájem o přírodovědné obory. Tato metoda zároveň klade důraz na propojení přírodovědných disciplín s environmentální problematikou a posiluje spojení těchto disciplín s aktuálními globálními tématy, jako jsou např. globální změny klimatu, produkce potravin apod. O naplnění vytyčených cílů pojednávají následující čtyři body.

- a) Byly navrženy dva různé pokusy, které demonstrovaly vliv teploty na vývoj a růst rostlin. Pokusy byly označeny jako Pokus 1 – Vliv teploty na produkci CO₂ během klíčení fazolu při rozdílných teplotách. Pokus 2 – Vliv teploty na růst kukuřice seté rostoucí při rozdílných teplotách. Oba pokusy byly zpracovány, provedeny a vyhodnoceny jejich výstupy.
- b) Na základě ověření, zpracování výsledků a statistického vyhodnocení byl pro tvorbu výukových materiálů vybrán pouze pokus 1. K vybranému pokusu byl vytvořen výukový materiál, který se skládá z metodického materiálu pro učitele a pracovních listů pro žáky. Vše bylo vypracováno tak, aby pokus byl realizován badatelsky orientovanou formou.
- c) Testování aplikovatelnosti BOV metody v praxi proběhlo v rámci kvalitativního výzkumu formou dotazníkového šetření, se zaměřením na povědomí a informovanost učitelů o badatelsky orientované metodě a jejím užití při výuce. Výsledky tohoto šetření byly srovnány s výsledky dotazníkového šetření zadaného sdružením TEREZA a byla konstatována ochota učitelů k využití metody a potřeba BOV materiálů. K testování konkrétního výstupu pokusu (viz body a) a b) výše) proběhlo ve spolupráci s pražským gymnáziem orientační ověření výukových materiálů na souboru studentů prvního ročníku. Aplikace materiálu v rámci výuky se setkala s dobrými výsledky a materiály lze hodnotit jako funkční a srozumitelné. Pokus byl prezentován osobně autorkou a zkušenosti a připomínky z jeho průběhu posloužily pro zkvalitnění materiálů.

6. Seznam použité literatury

- AHUJA I, de VOS RC, BONES AM, HALL RD, 2010. Plant molecular stress responses face climate change. *Trends in Plant Science* 15: 664–674.
- ALBERTS B, BRAY D, JOHNSON A, LEWIS J, RAFF M, ROBERTS K, WALTER P, 1998. Základy buněčné biologie, Úvod do molekulární biologie buňky, 2.vydání. Espero Publishnig Ústí nad Labem. ISBN 80-90-2906-20.
- Badatelé.cz, 2013. Průvodce pro učitele badatelsky orientovaného vyučováním. Vydalo sdružení TEREZA, Praha. ISBN 978-80-87905-02-9
- BALE JS, MASTERS GJ, HODKINSON ID, AWMACK C, BEZEMER TM, BROWN VK, BUTTERFIELD J, BUSE A, COULSON JC, FARRAR J a kol. 2002. Herbivory in global climate change research: direct effects of rising temperature on insect herbivores. *Global Change Biology* 8: 1–16.
- BEDRNOVÁ E, NOVÝ I, 2007. Psychologie a sociologie řízení, Managment press, Praha. ISBN 978-80-7261-169-0.
- BERÁNKOVÁ T, 2011. Uplatňování metod kritického myšlení ve výuce fotosyntézy, Diplomová práce, Univerzita Karlova v Praze, Přírodovědecká fakulta, s. 71-79.
- BERNACCHI CJ, PORTIS AR, NAKANO H, von CAEMMERER S, LONG SP. 2002. Temperature response of mesophyll conductance. Implications for the determination of Rubisco enzyme kinetics and for limitations to photosynthesis *in vivo* . *Plant Physiology* 130, 1992–1998
- BERRY J, RAISON J, 1981. Responses of macrophytes to temperature. In *Physiological Plant Ecology I: Responses to the Physical Environment*, Springer-Verlag, Berlin, Germany, s. 277–338.
- BOGLI A, 1956: Grundformen von Karsthöhlenguerschnitten. — *Stalactite* 6: 56-62
- BOUCHER O, MYHRE A, MYHRE G, 2004. Direct human influence of irrigation on atmospheric water vapour and climate. *Climate Dynamics* 22: 597–603.

- BUNCE J, 2000. Acclimation of photosynthesis to temperature in eight cool and warm climate herbaceous C3 species: temperature dependence of parameters of a biochemical photosynthesis model. *Photosynthesis Research* 63, s. 59–67.
- BYBEE RV, 2014. Scientific inquiry and science teaching. In: Flick, L. B. a Lederman, N.G. (eds): *Science inquiry and nature of science. Implications for teaching, learning and teacher education*. Dordrecht: Springer, s. 1-14. ISBN 1-4020-2671-4.
- BRÁZDIL a kol., 1986. Planeta země. Karolinum. Praha. 231.
- CANELL M, THORNLEY J, 1998b: Temperature and CO2 responses of leaf and canopy photosynthesis: a clarification using non-rectangular hyperbola model of photosynthesis. *Ann. Bot.* 82: 883 – 892.
- CAVANAGH C, MORELL M, MACKEY I, POWELL W. 2008. From mutations to MAGIC: resources for gene discovery, validation and delivery in crop plants. *Current Opinion in Plant Biology* 11: 215–221.
- CZESANÁ V, 2009. *Ročenka konkurenceschopnosti České republiky 2007 – 2008*. Praha: Národní observatoř zaměstnání a vzdělávání NVF, Centrum výzkumu konkurenceschopnosti české ekonomiky, 394 s. ISBN 978-80-86131-78-5.
- ČÍŽKOVÁ V, RADVANOVÁ S, 2009. Porovnání efektivity problémové a klasicky vedené výuky u žáků nižšího gymnázia. In *český pedagogický výzkum v mezinárodním kontextu. Sborník příspěvků XVII.ročníku celostátní konference ČAPV konané 09. – 11. Září v Ostravě*. Ostrava: OU-PedF, s. 394-403. ISBN 978-80-7368-769-4.
- ČUDOVÁ R, KUBIATKO M, RADVANOVÁ S, ČÍŽKOVÁ V, 2013. Biologické dovednosti – specifika z pohledu učitelů základních škol a gymnázií. The teachers' opinions and requirements of biology skills. *JBSE*, 12(5), 579-591.
- DOSTÁL J, 2013. Pokus jako součást badatelsky orientované výuky. *Trends in Education*. s. 9 - 19. ISSN 1805-8949.

- DRAKE B, GONZALES-MELER M, LONG S, 1997. More efficient plants: A consequence of risk atmospheric CO₂? Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol. 48: 609 – 639. 1997.
- ĎOUBAL S, KUČOVÁ D, 1997. Vybrané kapitoly z fyziky a biofyziky, Karolinum, s.161. ISBN 80-70066-947-0.
- DOWNTOWN W, BERRY J, SEEMAN J, 1984. Tolerance of photosynthesis to high temperature in desert plants. Plant Physiology 74, s. 786–790.
- EDELSON D, GORDIN D, PEA R, 1999. Addressing the Challenges of Inquiry-Based Learning through technology and curriculum design. Journal of the Learning Sciences, roč. 10, č. 3–4, s. 391–450.
- EICHELMANN H, LAISK A, 1999. Ribulose-1,5-bisphosphatecarboxylase/oxygenase content, assimilatory charge, and mesophyll conductance in leaves. Plant Physiol. 119:179–189.
- EPRON D, GODARD D, CORNIC G, GENTY B, 1995. Limitation of net CO₂ assimilation rate by internal resistances to CO₂ transfer in the leaves of two tree species (*Fagus sylvatica* L. and *Castanea sativa* Mill.). Plant, Cell and Environment 18: 43-51.
- EVANS JR, von CAEMMERER S, SETCHELL BA, HUDSON GS, 1994. The relationship between CO₂ transfer conductance and leaf anatomy in transgenic tobacco with a reduced content of Rubisco. Aust J Plant Physiol. 21:475–495.
- EVANS J, SHARKEY T, BERRY J, FARQUHAR G, 1986. Carbon Isotope Discrimination measured Concurrently with Gas Exchange to Investigate CO₂ Diffusion in Leaves of Higher Plants. Australian Journal of Plant Physiology 13: 281-292.
- FARQUHAR GD, von CAEMMERER S, BERRY JA, 1980. A biochemical model of photosynthetic CO₂ assimilation in leaves of C₃ species. Planta. 149:78–90.
- FAYNMAN R, 2001. Neobyčejná teorie světla a látky, Aurora, s. 25. ISBN 80-7299-045-4.

- FLEXAS J, DIAZ-ESPEJO A, GAGO J, GALLÉ A, GALMES J, MEDRANO H, 2013. Photosynthetic limitations in Mediterranean plants. *Environmental and Pokusal Botany* 103 (2014) 12–23; journal home page: www.elsevier.com/locate/envexpbot
- FLEXAS J, ORTUNO M, RIBAS-CARBO M, DIAZ-ESPEJO A, FLOREZ-SARASA I, MEDRANO H, 2007. Mesophyll conductance to CO₂ in *Arabidopsis thaliana*. *The New phytologist* 175: 501-511.
- GRIFFIN K, SEEMAN J, 1996. Plants, CO₂ and photosynthesis in the 21st century. *ChemistryBiol.* 3: 245 – 254.
- GRUSZKA D, 2013. The Brassinosteroid Signaling Pathway-New Key Players and Interconnections with Other Signaling Networks Crucial for Plant Development and Stress Tolerance. *International journal o fmolecular science*, 14 8740 – 8774.
- GULIAS J, CIFRE J, JONASSON S, MEDRANO H, FLEXAS J, 2009. Seasonal and inter-annual variations of gas exchange in thirteen woody species along a climatic gradient in the Mediterranean island of Mallorca. *Flora* 204 (3), 169–181.
- HARLEY P, LORETO F, MARCO G, SHARKEY T, 1992. Theoretical considerations when estimating the mesophyll conductance to CO₂ flux by analysis of the response of photosynthesis to CO₂. *Plant Physiol.* 98:1429–1436.
- HINDLS R, HRONOVÁ S, SEGER J, FISCHER J, 2007. *Statistika pro ekonomy*, Propessional Publishing. ISBN: 978-80-86946-43-6.
- HOUGHTON J, 2005. Global warning. *Reports on progress in physics.* 1343-1403
- CHINNUSAMY V, ZHU J, 2009. Epigenetic regulation of stress responses in plants. *Current Opinion in Plant Biology* 12: 133–139
- CHU S, CHOW K, TSE S, KUHLETHAU C, 2008. Grade 4 student's development of reasearch skills through inquiry-based leasing projects. *Schoollibrariesworldwide*, 14 (1).s. 10-37.

- IPCC, 2008. Kundzewicz ZW, Palutikof J, Wu S, eds. Climate change and water. Technical paper of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, UK a New York, NY, USA: Cambridge University Press.
- JANÍK T, STUHLÍKOVÁ I, 2013. Oborové didaktiky na vzestupu: přehled aktuálních vývojových tendencí. *Scientia in educatione*, 1(1).
- JANOUŠKOVÁ S, NOVÁK J, MARŠÁK J, 2008. Trendy ve výuce přírodovědných oborů z evropského pohledu. *Acta Facultatis Paedagogical Universitatis Tyrnaviensis, Ser. D, Supplementum* [online], roč. 2, č 12, [citace], s. 129-132. ISBN 978-80-8082-324-5. Dostupné na internetu:
http://pdfweb.truni.sk/katchem/ZBORNIK_2008/Janouskova_Novak_Marsak.pdf
- JEŘÁBEK H, 1992. Úvod do sociologického výzkumu, Praha Karolinum. ISBN: 80-7066-662-5.
- KADRNOŽKA J, 2008. Globální oteplování Země: příčiny, průběh, důsledky, řešení. Vyd. 1. Nakladatelství VUTIUM, Brno, 467 s. ISBN 978-80-214-3498-1.
- Kane E, 2013. Urban Student Motivation through Inquiry- Based Learning. *Journal of Studies in Education*. 3, 1.
- KOVÁŘOVÁ M, POKORNÝ J, 2010. Comparison of long-term monitoring of temperature and precipitation between wetland and other ecosystems. *Ecohydrology* 3(4): 445–456.
- Ku MSB, KANO MURAKAMI Y, MATSUOKA M, 1996. Evolution and expression of C-4, Photosynthesis genes. *Plant Physiol* 111, 949-957.
- KUTÍLEK M, 2008. Racionálně o globálním oteplování. ISBN:978-80-7363-183-3.
- LARCHER W, 1988. Fyziologická ekologie rostlin. 1. vydání Praha, Academia.
- LINN M, DAVIS E, BELL P, 2004. Internet environments for science education. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum, s. 3-38. ISBN 0-8058-4303-5.

- LLOYD J, SYVERTSEN J, KRIEDEMANN P, FARQUHAR G, 1992. Low conductances for CO₂ diffusion from stomata to the sites of carboxylation in leaves of woody species. *Plant, Cell and Environment* 15: 873-899.
- LORETO F, HARLEY PC, MARCO GD, SHARKEY TD, 1992. Estimation of mesophyll conductance to CO₂ flux by three different methods. *Plant Physiol.* 98:1437–1443.
- LUCK J, SPACKMAN M, FREEMAN A, TREBICKI P, GRIFFITHS W, FINLAY K, CHACKRABORTY S, 2011. Climate change and diseases of food crops. *Plant Pathology* 60: 113–121.
- MADGWICK J, WEST J, WHITE R, SEMENOV M, TOWNSEND J, TURNER J, FITT BL. 2011. Impactsofclimatechange on wheatan thesis and fusariumear blight in the UK. *European Journal of Plant Pathology* 130: 117–131.
- METELKA L, TOLAZS R, 2009. Klimatické změny: fakta bez mýtů. Univerzita Karlova v Praze, Centrum pro otázky životního prostředí. ISBN 978-80-87076-13-2. Dostupné na: http://amper.ped.muni.cz/gw/jev/dobre/Klima_zmeny_fakta.pdf
- MICHAELS S, SHOUSE A, SCHWEINGRUBER H, 2008. Ready, Set, Science! Putting research to work in K-8 science classrooms. National Research Council. National Academic Press. Washington D.C. 220 s. [on line] [cit. 2011-12-04] Dostupné na: http://www.nap.edu/catalog.php?record_id=11882
- MITTLER R, FINKA A, GOLOUBINOFF P, 2012. How do plants feel the heat? *Trends in Biochemical Sciences* 37: 118–125.
- MITTLER R, BLUMWALD E, 2010. Genetic engineering for modern agriculture: challenges and perspectives. *Annual Review of Plant Biology* 61: 443–462.
- MŠMT, 2003. *Vzdělávání a odborná příprava v Evropě: různé systémy, společné cíle do roku 2010. Pracovní program MŠMT formulující cíle systémů vzdělávání a odborné přípravy.* Praha: MŠMT.

- MŠMT, 2001. *Národní program rozvoje vzdělávání v České republice – Bílá kniha*. Praha: ÚIV, 98. ISBN 80-211-0372-8
- MUNNS R, TESTER M, 2008. Mechanisms of salinity tolerance. *Annual Review of Plant Biology* 59: 651–681.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 1996. The national science education standards. Washington, DC: National academy press. Dostupný z: www.nap.edu/openbook.php?record_id=4962.
- NÁTR L, 2006. Země jako skleník, Proč se bát CO₂?. Academia Praha, 142.SBN 80-200-1362-8
- NÁTR L, 2000. Koncentrace CO₂ a rostliny. ISV nakladatelství, Praha, 257 s. ISBN 80-85866-62-5.
- NICOL JM, TURNER SJ, COYNE DL, NIJS L, HOCKLAND S, MAAFI ZT. 2011. Current nematode threats to world agriculture. In: Jones J, Gheysen G, Fenoll C, eds. *Genomics and molecular genetics of plant–nematode interactions*. Amsterdam, the Netherlands: Springer, 21–43.
- NSES, 1996. National Science Education Standarts, National Academy Press, Washington DC. ISBN 0-309-05326-9. Dostupný z: http://www.nap.edu/openbook.php?record_id=4962&page=R1.
- OECD, 2003. *The PISA 2003 Assessment Framework: Mathematics, Reading, Science and Problem Solving Knowledge and Skills*. Paříž: OECD, 194 s. ISBN 978-92-64-10172-2.
- PAPÁČEK M, 2010a. M. Limity a šance zavádění badatelsky orientovaného vyučování přírodopisu a biologie v České republice. In *Didaktika biologie v České republice 2010 a badatelsky orientované vyučování*. České Budějovice: Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích. Pedagogická fakulta. Katedra biologie, s. 145 – 162.
- PAPÁČEK M, 2010b. Badatelsky orientované přírodovědné vyučování – cesta pro biologické vzdělávání generací Y, Z a alfa? *Scientia in educatione*, 1 (1). S. 33- 49. ISSN 1804-7106.

- PAULING A, PAETH H, 2006. On the variability of return periods of European winter precipitation extremes over the last three centuries. *Climate of the Past* 3: 65–76.
- PAVLOVÁ L, 2005. *Fyziologie rostlin*, Univerzita Karlova v Praze, Karolinum. ISBN 80-246-0985-1.
- PETIT J, JOUZEL J, RAYNAUD D, BARKOV N, BARNOLA J, BASILE I, STIEVENARD M, 1999. Climate and atmospheric history of the past 420,000 years from the Vostok ice core, Antarctica. *Nature*, 399(6735), 429-436.
- POKORNÝ J, BROM J, ČERMÁK J, HESSLEROVÁ P, HURYNA H, HADYEZHINA N, REJŠKOVÁ A, 2010. Solar energy dissipation and temperature control by water and plants. *International Journal of Water* 5(4): 311–336.
- PROCHÁZKA S, MACHÁČKOVÁ I, KREKULE J, ŠEBÁNEK J a kol., 2003. *Fyziologie rostlin*. 124 – 173. Academia Praha. ISBN 80-200-0586-2.
- PROCHÁZKA S, MACHÁČKOVÁ I, KREKULE J, ŠEBÁNEK J a kol., 1998. *Fyziologie rostlin*. 124 – 173. Academia Praha.
- PŘIBYL J, LOTEK V, KUČERA B, a kol., 1992. *Základy krasologie a speleologie*. — Academia, Praha, 356 s.
- RADVANOVÁ S, 2011. Badatelsky orientované vyučování jako nástroj rozvoje dovedností žáků v přírodních vědách. Paradigma současného vzdělávání v pedagogickém výzkumu. Doktorská konference 2011.
- REN, XIAOLI, HONGLIN H, LI Z, GUIRUI Y, 2014. Estimation of diffuse photosynthetically active radiation and the spatio temporal variation analysis in China from 1981 to 2010. *Journal of Geographical Sciences* [online]. 2014, vol. 24, issue 4, s. 579-592 [cit. 2014-06-06]. DOI: 10.1007/s11442-014-1107-1. Dostupné z: <http://link.springer.com/10.1007/s11442-014-1107-1>
- ROCHORD M, CSERMELY P, JORDE D, a kol., 2007. *Science education now: A renewed pedagogy for the future of Europe*. Brussels : European Comission, Directorate – General for Research, Science, Economy and

- society, Information and Communication Unit, 22s. ISBN 978-92-79-05659-8. ISSN 1018-5593.
- RVP G, 2007. VÚP Praha, 100. ISBN 978-80-87000-11-3.
 - RZCHNOVSKÝ B, 2011. BADATELSKY ORIENTOVANÉ VYUČOVÁNÍ V BIOLOGII A NADANÍ. Nadaní žáci ve škole, 1, 85-92.
 - SAGE R, 2004. The evolution of C-4 photosynthesis. New Phytol 161, 341-370.
 - SLÁDEK P, 2009. Jeskynní mikroklima a radioaktivita. — In: Hromas, J., Mackovčin, P., Sedláček, M. (eds.): Jeskyně. Chráněná území ČR, svazek XIV. Agentura ochrany přírody a krajiny ČR a Eko Centrum Brno, Praha, 608 s.
 - STUHLÍKOVÁ I, 2010. O badatelsky orientovaném vyučování. In Didaktika biologie v České republice 2010 a badatelsky orientované vyučování. Sborník příspěvků semináře konaného 25. – 26. Března v Českých Budějovicích. České Budějovice: JU-PedF, s.129-135. ISBN 978-80-7394-210-6.
 - SYCHROVÁ E, 2005. Vliv abiotických faktorů na houbové patogeny, publikované ve sborníku Vliv abiotických a biotických stresorů na vlastnosti rostlin 2005, Výzkumný ústav rostlinné výroby, fakulta agrobiologie, přírodních a potravinových zdrojů ČZU v Praze, s. 297.
 - Sdružení TEREZA, 2010. Koloběh uhlíku, metodika v rámci projektu 3V – vědě a výzkumu vstříc. Vydalo sdružení TEREZA, Praha. Dostupné z: <http://elearning.projekt3v.cz/>
 - TAIZ L, ZEIGER E, 2002. Plant Physiology. Sinauer Associates. Inc. Sunderland, USA, 690. ISBN 0-87893-823-0
 - Von CAEMMERER S, 2000. Biochemical models of leaf photosynthesis. Australia: Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization Publishing; s. 165.
 - von CAEMMERER S, EVANS J, HUDSON G, ANDREWS T, 1994. The kinetics of ribulose-1,5-bisphosphate carboxylase/oxygenase *in vivo* infer

red from measurements of photosynthesis in leaves of transgenic tobacco. *Planta*. 195:88–97.

- VOTRUBOVÁ O, 2010. Anatomie rostlin. Karolinum. Praha
- WARREN C, 2008. Does growth temperature affect the temperature responses of photosynthesis and internal conductance to CO₂? A test with *Eucalyptus regnans*. *Tree physiology* 28: 11-19.
- WARREN C, LOW M, MATYSSEK R, TAUSZ M, 2007. Internal conductance to CO₂ transfer of adult *Fagus sylvatica*: Variation between sun and shade leaves and due to free-air ozone fumigation. *Environmental and Pokusal Botany* 59: 130-138.
- WARREN C, ETHIER G, LIVINGSTON N, 2003. Transfer conductance in second growth Douglas-fir (*Pseudotsugamenziesii* (Mirb.) Franco) canopies. *Plant, Cell and Environment* 26: 1215-1227.
- YE Z, BARKER S, ROWELL P, REYES P, ZHOU J, JENKINS F, WANG M, FUENTES E, 2008. Globalization of science inquiry and education for sustainable development. MBE 2008: Asia - Pacific conference on mind brain and education, s. 108 – 112.
- ZVERYAEV I, WIBIG J, ALLAN R, 2008. Contrasting interannual variability of atmospheric moisture over Europe during cold and warm seasons. *Tellus* 60A: 32–41.

Internetové zdroje:

- Badatelé.cz, sdružení TEREZA. Dostupné z: www.badatele.cz
- Český hydrometeorologický ústav. Dostupné z: <http://www.chmi.cz/>
- Earth System Research Laboratory. Dostupné z: <http://www.esrl.noaa.gov/gmd/obop/mlo/livedata/livedata.html>
- Earth's CO₂ Home Page. Dostupné z: <http://www.co2now.org>
- Klimatické změny: fakta bez mýtů, Metelka L, Tolazs R, 2009. Dostupné z: http://amper.ped.muni.cz/gw/jev/dobre/Klima_zmeny_fakta.pdf.
- Mezivládní panel pro změny klimatu (IPCC). Dostupné z: <http://www.ipcc.ch/>

- Metodický portál RVP. Dostupné z: <http://www.rvp.cz>
- Meteorologické prvky a jejich klimatologické charakteristiky. Dostupné z http://is.muni.cz/do/rect/el/estud/pedf/js13/fyz_geogr/web/pages/03-prvky.html
- Národní program rozvoje vzdělávání v České republice: Bílá kniha. MŠMT. Dostupné z: <http://www.msmt.cz/dokumenty/>
- Pátá hodnotící zpráva IPCC. Dostupné z: <http://www.ipcc.ch/report/ar5/>
- Projekt 3V – Vědě a výzkumu vstříc. Dostupné z: www.projekt3v.cz.
- Současná světová populace. Dostupné z: <http://www.worldometers.info/world-population/>
- Svět techniky. Science and technology center Ostrava. Dostupné z: svet-techniky-ostrava.cz
- Vernier, Vybavení pro výuku přírodovědných oborů. Dostupné z: www.vernier.cz nebo www.vernier.com
- Zpráva Evropské Unie Science Education NOW, A renewed Pedagogy for the Future of Europe, 2007 (ec.europa.eu/research/science-society/document_library/pdf_06/report-rocard-on-science-education_en.pdf)

7. Přílohy

7.1. Dotazník pro učitele

Dobrý den,

Jmenuji se Zuzana Máhrlová a jsem studentka navazujícího magisterského oboru Biologie a matematika se zaměřením na vzdělávání na přírodovědecké fakultě Univerzity Karlovy v Praze. Svoji diplomovou práci vypracovávám na Katedře experimentální biologie rostlin s tématem týkajících se nových pokusů s rostlinami a vypracování metodických materiálů pro střední školy.

Ráda bych formou dotazníku zjistila, jaké jsou vaše zkušenosti či informace týkající se **badatelsky orientovaného vyučování**. Tento dotazník je zcela anonymní a veškeré údaje, které vyplníte, budou použity pouze pro účely osobního výzkumného projektu.

Předem děkuji za Vaše pochopení, vstřícnost a za Váš velmi drahocenný čas. Jako ocenění za vyplnění dotazníku Vám nabízím, že vytvořené **metodické materiály Vám poskytnu bezplatně v elektronické podobě**.

1) Typ školy, na které vyučujete:

- ☐ 6-leté gymnázium
- ☐ 8-leté gymnázium
- ☐ Střední odborná škola

2) Vyučuji ve městě, jehož přibližný počet obyvatel se pohybuje:

- ☐ Do 20 000
- ☐ 20 001 – 50 000
- ☐ 50 001 – 100 000
- ☐ Nad 100 000

3) Vyučuji tyto předměty:

4) Počet hodin povinné výuky biologie týdně:

- ☐ 1. ročník: 2. ročník: 3. ročník: 4. ročník:
.....

5) V Do kterého ročníku zařazujete výuku fyziologie rostlin?

- ☐ Do 1. ročníku
☐ Do 2. ročníku
☐ Do 3. ročníku
☐ Do 4. ročníku
☐ Jiné

6) Jaká je hodinová dotace pro fyziologii rostlin?

7) Kterou učebnici využíváte při výuce fyziologie rostlin (botaniky)?

8) Které další materiály (publikace) využíváte při výuce fyziologie rostlin?

9) Setkal/a jste se během svého studia nebo praxe s metodou badatelsky orientovaného vyučování (BOV)?

- ☐ ano, znám ji velmi dobře
☐ ano, vím, o co jde
☐ setkal/a, ale nemám jasnou představu, o co jde
☐ tento pojem jsem dosud neslyšel/a

10) Pokud jste se s BOV již setkal/a, specifikujte, prosím, při jaké příležitosti (seminář, kontakt na odborníka...)

11) Využíváte při výuce badatelsky orientovaného přístupu?

- ☐ velmi často
- ☐ zřídka
- ☐ vůbec ne

12) Pokud BOV využíváte, popište prosím stručně kdy, jak atd.

13) Jaké výhody spatřujete ve využívání BOV ve výuce biologie?

14) Jaké nevýhody spatřujete ve využívání BOV ve výuce biologie?

15) Máte k rozvoji BOV ve své výuce k dispozici odpovídající metodický materiál?

- ☐ určitě ne
- ☐ vím o mnoha materiálech, ale neodpovídají mým požadavkům
- ☐ materiálů je málo a neodpovídají mým požadavkům
- ☐ materiálů je málo, ale s těmi, co využívám, jsem spokojen/a
- ☐ materiálů je mnoho a odpovídají mým požadavkům

16) Pokud nějaké metodické materiály k BOV využíváte, specifikujte, prosím, jaké.

17) Na jaké přírodovědná témata byste navrhoval/a nové metodické materiály zaměřit?

Děkuji Vám za Váš čas strávený při vyplňování dotazníku.

7.2. Dotazník TEREZA

Praha, 7. prosince
2011

Vážené kolegyně, vážení kolegové,

obracíme se na Vás s prosbou o spolupráci. V současné době začínáme řešit spolu s odborníky z vysokých škol projekt BADATELÉ.CZ. Jeho cílem je zavést do výuky v ČR takové metody a formy práce, které podporují badatelské aktivity žáků 1. a 2. stupně základních škol v přírodních vědách a rozvíjí zájem žáků o přírodovědné obory. Výstupem projektu budou nově vzniklé ucelené metodické materiály a chtěli bychom, aby tyto materiály vycházely ze skutečných potřeb žáků a učitelů a byly jim šité na míru. V první fázi projektu proto zjišťujeme, v jakém stavu je současná praxe na školách a povědomí o **badatelsky orientovaném vyučování (BOV)**. Velice nám v tom pomůže, pokud vyplníte následující dotazník. Předem děkujeme za Vaše pochopení, vstřícnost a za Váš velmi drahocenný čas. Jako ocenění za vyplnění dotazníku Vám nabízíme, že v projektu vytvořené metodické materiály Vám poskytneme bezplatně v tištěné i elektronické podobě. Aktuálně Vám navíc obratem zašleme jeden z pracovních listů, zaměřený na oblast environmentální výchovy, z naší interní databáze.

Vaše Sdružení TEREZA

Badatelsky orientované vyučování (BOV) chápeme jako způsob vyučování, při kterém se znalosti budují během řešení určitého problému v postupných krocích, které zahrnují stanovení hypotézy, zvolení příslušné metodiky zkoumání určitého jevu, získání výsledků a jejich zpracování, shrnutí a diskusi.²

1) Zaškrtněte jednu z možností:

- ☐ Vyučuji na **prvním stupni** základní školy
☐ Vyučuji na **druhém stupni** základní školy

2) Pokud na druhém stupni, které předměty?

3) Setkal/a jste se již během svého studia nebo své praxe s metodou badatelsky orientovaného vyučování (BOV)?

- ☐ ano, znám ji velmi dobře
☐ ano, vím, o co jde
☐ setkal/a, ale nemám jasnou představu, o co jde
☐ tento pojem jsem dosud neslyšel/a

4) Pokud jste se s BOV již setkal/a, specifikujte, prosím, při jaké příležitosti (seminář, kontakt na odborníka...)

5) Využíváte při výuce badatelsky orientovaného přístupu?

- ☐ velmi často
☐ zřídka
☐ vůbec ne

6) Pokud BOV využíváte, popište prosím stručně kdy, jak atd.

7) Máte k rozvoji BOV ve své výuce k dispozici odpovídající metodický materiál?

- ☐ určitě ne
☐ vím o mnoha materiálech, ale neodpovídají mým požadavkům
☐ materiálů je málo a neodpovídají mým požadavkům
☐ materiálů je málo, ale s těmi, co využívám, jsem spokojen/a
☐ materiálů je mnoho a jsou dle mého kvalitní

8) Pokud nějaké metodické materiály k BOV využíváte, specifikujte, prosím, jaké.

9) Na jaké přírodovědná témata byste navrhoval/a nové metodické materiály zaměřit?

Ještě jednou děkujeme za čas strávený při vyplňování dotazníku, zašlete jej prosím do 31. 12. 2011 na adresu: badatele@terezanet.cz Přejeme Vám co nejklidnější závěr pololetí a příjemné prožití Vánočních svátků.

Badatelsky orientované vyučování (BOV) je volným překladem anglického termínu *Inquiry-based science education (IBSE)*; shrnující článek v češtině: <http://clanky.rvp.cz/clanek/o/z/2075/INOVACE-PRIRODOVEDNEHO-VZDELAVANI-Z-EVROPSKEHO-POHLEDU.html/>

² Rocard, M., Csermely, P., Jorde, D., Lenzen, D., Wahlberg-Henriksson, H. a Hemmo, V. 2007: Science Education Now: A renewed Pedagogy for the Future of Europe: Report of the High – Level Group on Science Education Brussels. European Commission, Directorate – General for Research, Information and Communication Unit, Brussels 29 s. [on line] [cit. 2010-03-20]. Dostupné na WWW: http://ec.europa.eu/research/science-society/document_library/pdf_06/report-rocard-on-science-education_en.pdf

7.3. Metodický materiál pro učitele

Zahrádkaření v piktogramech a měření neviditelného

Cílová skupina:	1. ročník, gymnázium
Časová dotace:	90 minut
Období realizace:	V průběhu celého školního roku

Příprava před lekcí

- Sedm dní před realizací pokusu nutné nechat naklíčit semena fazolu na provlhčené buničině ve vyšších miskách překryté alobalem. Fazole k dostání v potravinách v půlkilogramovém balení přibližně za 30,- Kč. Lze nechat připravit samotné studenty v průběhu běžné vyučovací hodiny.
- Připravte si sáčky se semeny rajčat, hrachu, řepy a cukety, které jsou vhodné k výsevu. Stačí příprava piktogramů jednotlivého druhu zeleniny (viz příloha č. 7.6)
- Připravte si „badatelské bedýnky“, v nichž je shromážděn veškerý materiál k realizaci pokusu. Jedna „badatelská bedýnka“ obsahuje přibližně padesát naklíčených semen fazolu, dvě kádinky o objemu 250 ml, dvě zkumavky, pro nepřímé měření koncentrace CO₂ indikační kapalinu z balení Permanent CO₂ Test (k dostání v internetovém obchodu nabízející akvarijní potřeby, např. zde <http://www.migashop.cz/>, cena cca 400,- Kč), návod na využití indikační kapaliny (příloha č. 7.6) a potravinovou fólii. Doporučení: jednu badatelskou bedýnku pro skupinu o 3 - 4 studentech.
- Nakopírujte pracovní listy pro každého studenta zvlášť.
- Učitel při této aktivitě vykonává funkci průvodce. Úlohy se vypracovávají postupně a vždy po úvodu učitele.

1) Zahrádkaření v piktogramech

- **Motivační úloha, zisk informací, kladení otázek**
- **Délka aktivity:** 10 minut
- **Popis aktivity**
 - Otázka zní: Proč zahradník nemůže zasít všechny tyto druhy v březnu a sklídit jejich úrodu v létě? Co znamenají jednotlivé piktogramy na obalu?
 - Žáci si přečtou text a zadání úkolu v úloze 1. K dispozici mají sáčky se semeny, ze zadní strany sáčku je znázorněn postup výsevu v piktogramech.
- **Cíl aktivity**
 - Žáka motivovat úlohou z praxe.
 - Žák určí teplotu, jako hlavní kritérium pro výsev semen.

- Žák popíše jednotlivé piktogramy, které jsou uvedené na obalu semen hrachu, rajčat, řepy a cukety.
- **Doplňující**
 - Žák na základě piktogramů vybere z daných odrůd ty, které je možné zasít v březnu a očekávat sklizeň v letních měsících.
 - Žák popíše funkci skleníku.

2) Ideální podmínky

- **Získ informací, kladení otázek, formulace vlastních domněnek**
- **Délka aktivity:** 10 minut
- **Popis aktivity**
 - Žáci si přečtou text a zadání úkolu v úloze 2 a popíší obrázek.
 - Otázka zní: Která z variant zobrazuje ideální podmínky pro začátek klíčení semen a proč? Jak se budou v jednotlivých variantách semena dál vyvíjet?
- **Cíle aktivity**
 - Žák označí za správnou odpověď variantu B.
 - Žák formuluje vlastními slovy další průběh semen v jednotlivých variantách a uvědomí si, že pro začátek klíčení je nutný přístup jak vody, tak i kyslíku.

3) Skleník versus venkovní prostředí

- **Formulace hypotézy**
 - Je třeba nejprve žákům vysvětlit, co je to hypotéza, jak je hypotéza formulována správně (více o hypotéze dostupné na: <http://www.fsps.muni.cz/~tvodicka/data/reader/book-8/08.html>)
 - **Co je to hypotéza?** Hypotéza (řecky hypo-thesis, podklad, princip, předpoklad) znamená tvrzení, jehož platnost se předpokládá, ale neví se, zda je toto tvrzení pravdivé nebo ne. Formuluje jako oznamovací věta tak, aby ji bylo možno potvrdit nebo vyvrátit (zamítnout).
 - **Hypotézy jsou:** Klíčení probíhá rychle za nízké teploty. Klíčení probíhá rychle při pokojové teplotě. Při klíčení je spotřebováván kyslík na proces získávání energie při dýchání.
 - **Hypotézy nejsou:** Probíhá klíčení za nízké teploty? (hypotéza nemůže být otázka) Klíčení probíhá buď za nízké, nebo vysoké teploty. (Odpověď ano, ale neřeší daný problém, zda je pro klíčení třeba nízkých nebo vysokých teplot).
- **Délka aktivity:** 10 minut
- **Popis aktivity**
 - Žáci si přečtou text a zadání úkolu v úloze 3.
- **Cíle aktivity**
 - Žáci ve skupinách formulují svojí hypotézu.

4) Klíčení bez zraku

- **Práce s textem, získání informací, kladení otázek, návrh metody měření**
- **Délka aktivity:** 15 minut
- **Popis aktivity**
 - Společné čtení textu v úloze 4. Studenti podtrhnou v textu cizí a neznámé pojmy, které si společně vysvětlíme. Žáci v textu zvýrazní důležité informace, které pomohou zodpovědět daný úkol.
 - Otázka zní: Jakou metodou můžeme změřit obsah O_2 / CO_2 ve vzduchu? V jakých jednotkách lze měřit obsah plynů v atmosféře?
- **Cíle aktivity**
 - Žák si uvědomí, že průběh klíčení lze dokázat měřením spotřeby O_2 a produkci CO_2 , pokud semena jsou v uzavřeném prostředí
 - Žák navrhuje způsoby, jak změřit O_2 / CO_2 v uzavřeném prostředí.
 - Žák navrhuje způsoby, jak simulovat rozdílné teploty bez nutnosti skleníku a venkovního záhonu.

5) Plánování pokusu a jeho následná realizace

- **Plánování pokusu a návrh tabulky pro zápis naměřených hodnot, následná realizace dle vlastně vytvořeného postupu**
- **Délka aktivity:** 30 minut
- **Popis aktivity**
 - Žáci obdrží „badatelskou bedýnku“ a na základě jejího obsahu, navrhnou plán a postup pokusu.
 - Nutné zdůraznit, že navrhujeme pokus, který lze provést ve třídě (není potřeba ani skleníku ani záhonu). Simulace reálné situace rozdílných teplot (lednice x pokojová teplota).
- **Cíle aktivity**
 - Žák sestaví plán pokusu, vytvoří tabulku pro zápis vlastních naměřených hodnot.
 - Žák realizuje dle svého návodu pokus.
 - Žák sestaví své experimentální aparatury a vystaví je rozdílným teplotám (pokojová teplota versus teplota v chladničce).

Upozornění: Jednotlivé aparatury musí být vystavené rozdílným teplotám minimálně dvě až tři hodiny, aby se na indikační kapalině projevila rozdílná koncentrace CO_2 . Je možné nechat jednotlivé experimentální systémy vystavené rozdílným teplotám po dobu 24 hodin a zkontrolovat výsledek až následující den. Poté v průběhu vyučovací hodiny či doma doplnit zbývající úlohy v protokolu.

6) Graf

- **Vyhodnocení výsledků a práce s grafem**
- **Délka aktivity:** 5 minut
- **Popis aktivity**

- Zakreslení grafu.
- **Cíle aktivity**
 - Na základě rozdílu barev indikačních kapalin z aparatur vystavených různým teplotám žák zakreslí do grafu přibližný vývoj koncentrace oxidu uhličitého v čase.

7) Závěr pokusu

- **Vyhodnocení pokusu**
- **Délka aktivity:** 10 minut
- **Popis aktivity**
 - Formulace závěrů spojené s praktickým využitím.
- **Cíle aktivity**
 - Žák sepisuje různá opatření, jak by mohl být zajištěn lepší vývoj pro zaseté druhy zeleniny.

7.4. Pracovní listy pro žáky

Zahrádkaření v piktogramech a měření neviditelného



„Konečně mám svojí zahradu a také velké ambice si pěstovat vlastní domácí zeleninu. Motyka, rýč a rukavice jsou připraveny. Nakoupil jsem již semena hrachu, rajčat, řepy a cukety a vyčlenil jsem si na jejich vysetí druhý víkend v březnu. Těším se, až v létě sklídím bohatou úrodu. Nemůžu se dočkat!“

1) Popište piktogramy, které graficky znázorňují pravidla výsevu jednotlivých druhů semen zeleniny.

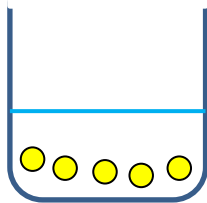
Hrách:

Rajčata:

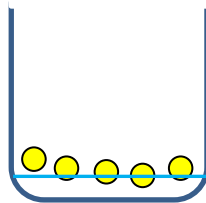
Řepa:

Cuketa:

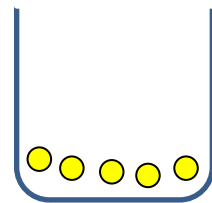
2) Z následujících variant vyberte jednu, která zobrazuje ideální podmínky pro začátek klíčení semen. Formulujte vlastními slovy, co se v jednotlivých případech bude dále dít se semeny rostlin. Zdůvodněte, proč je vámi zvolená varianta optimální.



Varianta A



Varianta B



Varianta C

Varianta A:

Varianta B:

Varianta C:

3) Přečtěte si text v bublině a navrhnete hypotézu, co se bude dále dít s přesazenými klíčícími semeny?



„Už jsem se trochu poučil z předešlých let, proto jsem si nechal naklíčit semena při pokojové teplotě, nyní je přesadím do skleníku, kde se mi teplota pohybuje kolem 20 °C, ale i na venkovní záhon, kde teploty jsou znatelně nižší dokonce kolem 5 °C.“

Hypotéza:

Zdůvodnění:

4) Napadne Vás jak ověřit, že semena nadále klíčí, aniž byste je viděli?

Navrhněte metodu nebo způsob, jak ověřit klíčení semen, pokud máte následující nápovědu:

- Pro obnovení metabolické aktivity je nutný přísun dostatečného množství vody (rehydratace). Semena přijímají větší množství kyslíku, který je nezbytný pro respiraci. Díky respiraci jsou klíčící semena schopné využít své vlastní energetické zdroje a tím získat energii ve formě ATP i metabolity nutné pro tvorbu nových strukturních a regulačních látek. Během tohoto procesu semeno nebo klíčící rostlina uvolňuje CO_2 do okolního prostředí. Pokud se semena nachází v prostředí s příznivými podmínkami, celý tento metabolický děj je intenzivnější, rychlejší a má pozitivní účinky na celkový růst rostliny.

Návrhy:

5) Sestavte plán pokusu, který lze provést ve třídě. Vytvořte tabulku pro zápis naměřených dat u jednotlivých vzorků.

Proved'te pokus a svá měření zapisujte do vytvořených tabulek.

6) Na základě vašich výsledku, zakreslete do grafu v závislosti na čase produkci CO_2 jednotlivých vzorků.

BARVA GRAFU VZORKU 1:

BARVA GRAFU VZORKU 2:

CO_2

čas

7) Byla vaše hypotéza výsledky pokusu potvrzena či vyvrácena? Na co si má zahradník dát konkrétně pozor, aby příští rok jeho úspěšnost v pěstování zeleniny se zvýšila?



7.5. Autorské řešení pracovních listů

Zahradkaření v piktogramech a měření neviditelného



„Konečně mám svojí zahradu a také velké ambice si pěstovat vlastní domácí zeleninu. Motyka, rýč a rukavice jsou připraveny. Nakoupil jsem již semena hrachu, rajčat, řepy a cukety a vyčlenil jsem si na jejich vysetí druhý víkend v březnu. Těším se, až v létě sklídím bohatou úrodu. Nemůžu se dočkat!“

1) Popište piktogramy, které graficky znázorňují pravidla výsevu jednotlivých druhů semen zeleniny.

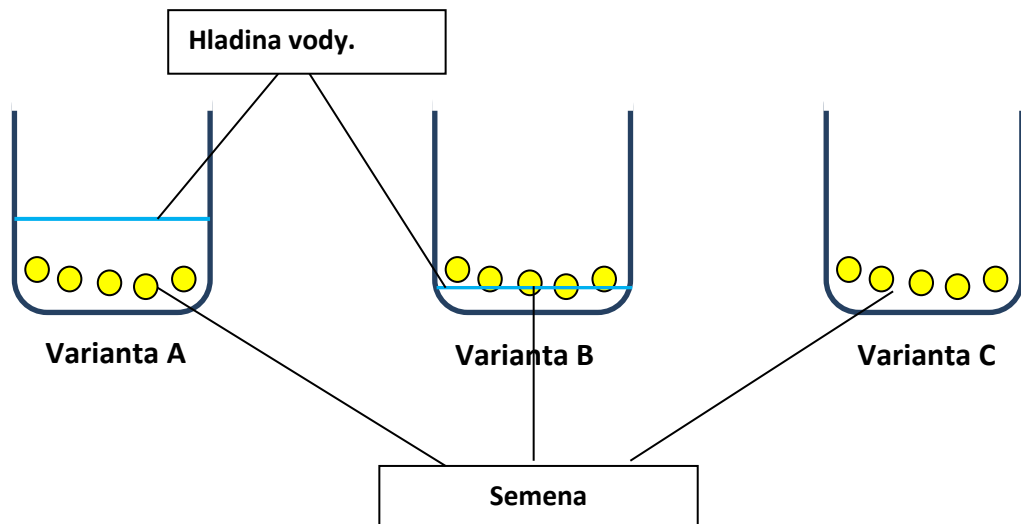
Hrách: Semena hrachu sejeme do venkovního záhonu 4 – 5 cm hluboko od března do dubna nebo od května do června. Nepřesazujeme. Rozestup mezi rostlinkami v jednom řádku je 5 cm, mezery mezi jednotlivými řádky pak 20 cm. Období sklizně připadá na červen až srpen, závisí na době výsevu.

Rajčata: Semena rajčat sejeme do krytého záhonu (skleníku) přibližně 0,3 cm hluboko od března do června. Nesejeme do venkovního záhonu. V květnu vzrostlé rostliny rajčat přesazujeme ven. Jednotlivé rostliny rajčat mají rozestupy přibližně 50 x 40 cm. Sklizeň probíhá od srpna do října.

Řepa: Osivo vyséváme do venkovního záhonu 3 – 4 cm hluboko do země od dubna do června. Vzrostlé rostliny řepy nepřesazujeme. Rozestupy rostlin jsou 15 cm. Sklizeň úrody probíhá od července do října.

Cuketa: V průběhu března až dubna semena cukety sejeme do krytého záhonu (skleníku) přibližně 1 cm hluboko do země, pak v květnu přesazujeme do venkovního záhonu. Nebo je možné semena zasít až v květnu do venkovního záhonu přibližně 2 cm hluboko do země. Rozestupy mezi jednotlivými rostlinami je 100 x 150 cm. Období sklizně probíhá od června do září.

2) Z následujících variant vyberte jednu, která zobrazuje ideální podmínky pro začátek klíčení semen. Formulujte vlastními slovy, co se v jednotlivých případech bude dále dít se semeny rostlin. Zdůvodněte, proč je vámi zvolená varianta optimální.



Varianta B znázorňuje ideální podmínky pro začátek klíčení semen, protože semena mají přísun jak vody, tak kyslíku.

Varianta A: Semena přijmou velké množství vody, tím se zvětší jejich objem (nabobtnají). Téhle vlastnosti se využívá v gastronomii (namočení čočky/fazolu/hrachu na noc).

Varianta B: Dostatečné množství vody a přísun kyslíku obnoví v semeni metabolickou aktivitu. Semena začnou využívat své vlastní zásoby energie díky respiraci, tím se spotřebovává kyslík a uvolňuje CO_2 . Semena tak jsou schopná získat ze svých zásob energii aerobním dýcháním ve formě ATP, která je dále využita na tvorbu nových strukturních látek. Celý tento proces vede k začátku klíčení.

Varianta C: Semena budou nadále beze změny.

3) Přečtěte si text v bublině a navrhnete hypotézu, co se bude dále dít s přesazenými klíčky?



„Už jsem se trochu poučil z předešlých let, proto jsem si nechal naklíčit semena při pokojové teplotě, nyní je přesadím do skleníku, kde se mi teplota pohybuje kolem 20 °C, ale i na venkovní záhon, kde teploty jsou znatelně nižší dokonce kolem 5 °C.“

Hypotéza:

Zdůvodnění:

4) Napadne Vás jak ověřit, že semena nadále klíčí, aniž byste je viděli?

Navrhněte metodu nebo způsob, jak ověřit klíčení semen, pokud máte následující nápovědu:

- *Pro obnovení metabolické aktivity je nutný přísun dostatečného množství vody (rehydratace). Semena přijímají větší množství kyslíku, který je nezbytný pro aerobní dýchání - respiraci. Díky respiraci jsou klíčící semena schopná využít své vlastní energetické zdroje a tím získat energii ve formě ATP i metabolity nutné pro tvorbu nových strukturních a regulačních látek. Během tohoto procesu semeno nebo klíčící rostlina rozkládá organické látky, které mají uhlíkový skelet a uvolňuje tak CO_2 do okolního prostředí. Pokud se semena nacházejí v prostředí s příznivými podmínkami, celý tento metabolický děj je intenzivnější, rychlejší a má pozitivní účinky na celkový růst rostliny.*

Návrhy:

Na základě spotřeby kyslíku nebo uvolňování oxidu uhličitého je možné dokázat, že semena pořád prodýchávají organické látky, aby získali energii na klíčení, tedy pořád klíčí. Při lepších podmínkách pro klíčení daného druhu rostlin, semena spotřebují více kyslíku a vyprodukují více oxidu uhličitého za jednotku času než semena vystavená horším podmínkám.

Jak změřit koncentraci CO_2 ve vzduchu / ve vodě?

- a) Profesionální přístroje využívané v laboratořích i terénu
- b) přímé měření koncentrace CO_2 ve vzduchu - Vernier přístroj, určen pro školní praktická cvičení (měření na bázi absorpce infračerveného záření molekulami CO_2) – měření ze vzduchu (jednotky – ppm, milióntiny, z latinského parts per milion)
- c) nepřímé měření koncentrace CO_2 ve vzduchu skrze kapalinu, ve které se rozpustí CO_2 ze vzduchu. Indikační kapalina z balení Permanent CO_2 Test - měření z kapaliny (jednotky - mg/l)
 - Volné vystavení indikační kapaliny prostředí se zvýšenou koncentrací CO_2 ve vzduchu způsobí změnu barvy kapaliny, jak dochází k postupnému rozpouštění CO_2 v kapalině z okolního vzduchu, a to již při obsahu 8 mg/l CO_2 . S vyšší koncentrací CO_2 ve vzduchu se kapalina zabarvuje z původní tmavě modré barvy přes zelenou až do žluté.

5) Sestavte plán pokusu, který lze provést ve třídě. Vytvořte tabulku pro zápis naměřených dat u jednotlivých vzorků.



Provedte pokus a svá měření zapisujte do vytvořených tabulek.

- Rovnoměrné rozdělení naklíčených semen do dvou kádinek
- Vložení zkumavek s indikační kapalinou do kádinek
- Překrytí alobalem, abychom dosáhli hermetického (uzavřeného) prostředí a nedocházelo k mísení s okolním atmosférickým vzduchem
- Vložení jedné kádinky do lednice, druhou ponecháme při pokojové teplotě
- Doba k ponechání vzorků při různých teplotách je stanovena minimálně na 180 minut
- Porovnávání barvy indikační kapaliny
- Závěr

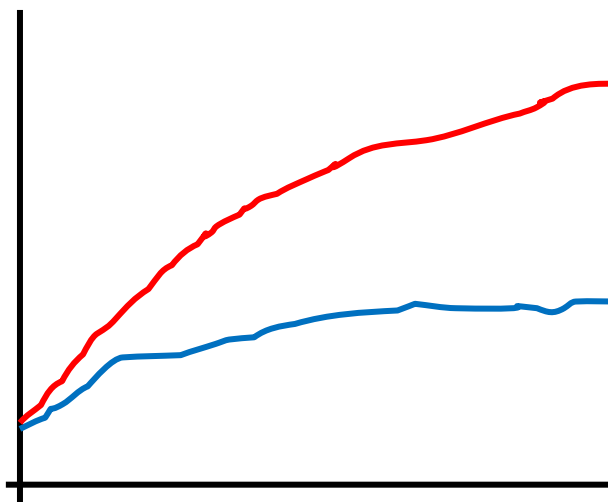
VZOREK 1	
Počet naklíčených semen	
Teplota	
Doba měření	
Výsledná barva indikační kapaliny	

VZOREK 2	
Počet naklíčených semen	
Teplota	
Doba měření	
Výsledná barva indikační kapaliny	

6) Na základě vašich výsledků, zakreslete do grafu uvolňování CO_2 u jednotlivých vzorků (koncentrace CO_2 na ose y) v závislosti na čase (osa x)

BARVA GRAFU VZORKU	
BARVA GRAFU VZORKU	

CO_2



130

čas

7) Byla vaše hypotéza výsledky pokusu potvrzena či vyvrácena? Na co si má zahradník dát konkrétně pozor, aby příští rok jeho úspěšnost v pěstování zeleniny se zvýšila?



7.6. Materiál pro realizaci laboratorního cvičení

Zahrádkaření v piktogramech a měření neviditelného

Nepřímé měření koncentrace CO₂ s použitím Permanent Test CO₂

Princip testu: indikační kapaliny z balení Permanent Test CO₂ je užíváno především v akvaristice, kde se užívá pro měření hodnoty CO₂ rozpuštěného ve vodním prostředí přes hraniční vrstvičku vzduchu. Volné vystavení kapaliny okolnímu prostředí se zvýšenou koncentrací CO₂ ve vzduchu zajišťuje, že již při obsahu 8 mg/l se barva kapaliny mění. S vyšší koncentrací CO₂ ve vzduchu se kapalina zabarvuje z původní tmavě modré barvy přes zelenou až do žluté. Podle přiložené barevné stupnice je možné určit přibližný obsah CO₂ ve vzduchu.

Použití:

- 1) Odejměte víčko a do zkumavky nakapejte 30 kapek indikační kapaliny.
- 2) Test začne správné hodnoty ukazovat až po 2 – 3 hodinách.
- 3) Výsledek porovnejte s přiloženou barevnou stupnicí.

Varování: Vystavením vaší výsledné indikační kapaliny okolnímu vzduchu, dochází k rychlé přeměně na výchozí barvu.

Nepřímé měření koncentrace CO₂ s použitím Permanent Test CO₂

Princip testu: indikační kapaliny z balení Permanent Test CO₂ je užíváno především v akvaristice, kde se užívá pro měření hodnoty CO₂ rozpuštěného ve vodním prostředí přes hraniční vrstvičku vzduchu. Volné vystavení kapaliny okolnímu prostředí se zvýšenou koncentrací CO₂ ve vzduchu zajišťuje, že již při obsahu 8 mg/l se barva kapaliny mění. S vyšší koncentrací CO₂ ve vzduchu se kapalina zabarvuje z původní tmavě modré barvy přes zelenou až do žluté. Podle přiložené barevné stupnice je možné určit přibližný obsah CO₂ ve vzduchu.

Použití:

- 1) Odejměte víčko a do zkumavky nakapejte 30 kapek indikační kapaliny.
- 2) Test začne správné hodnoty ukazovat až po 2 – 3 hodinách.
- 3) Výsledek porovnejte s přiloženou barevnou stupnicí.

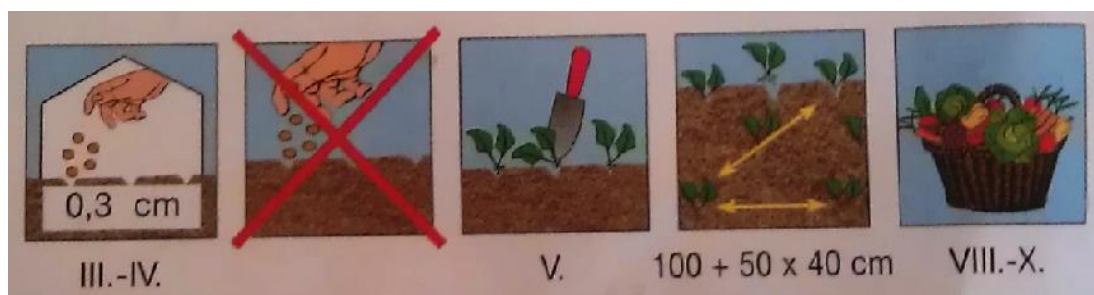
Varování: Vystavením vaší výsledné indikační kapaliny okolnímu vzduchu, dochází k rychlé přeměně na výchozí barvu.

Piktogramy pro pěstování jednotlivých druhů zeleniny

Hrách (Hrách setý dřevňový –tyčkový, *Pisum sativum* L.):



Rajče (Rajče keříčkové, *Lycopersicon esculentum* Mill.):



Řepa (Řepa salátová, *Beta vulgaris* L.):



Cuketa (Tykev cuketa, *Cucurbita pepo* L.):

